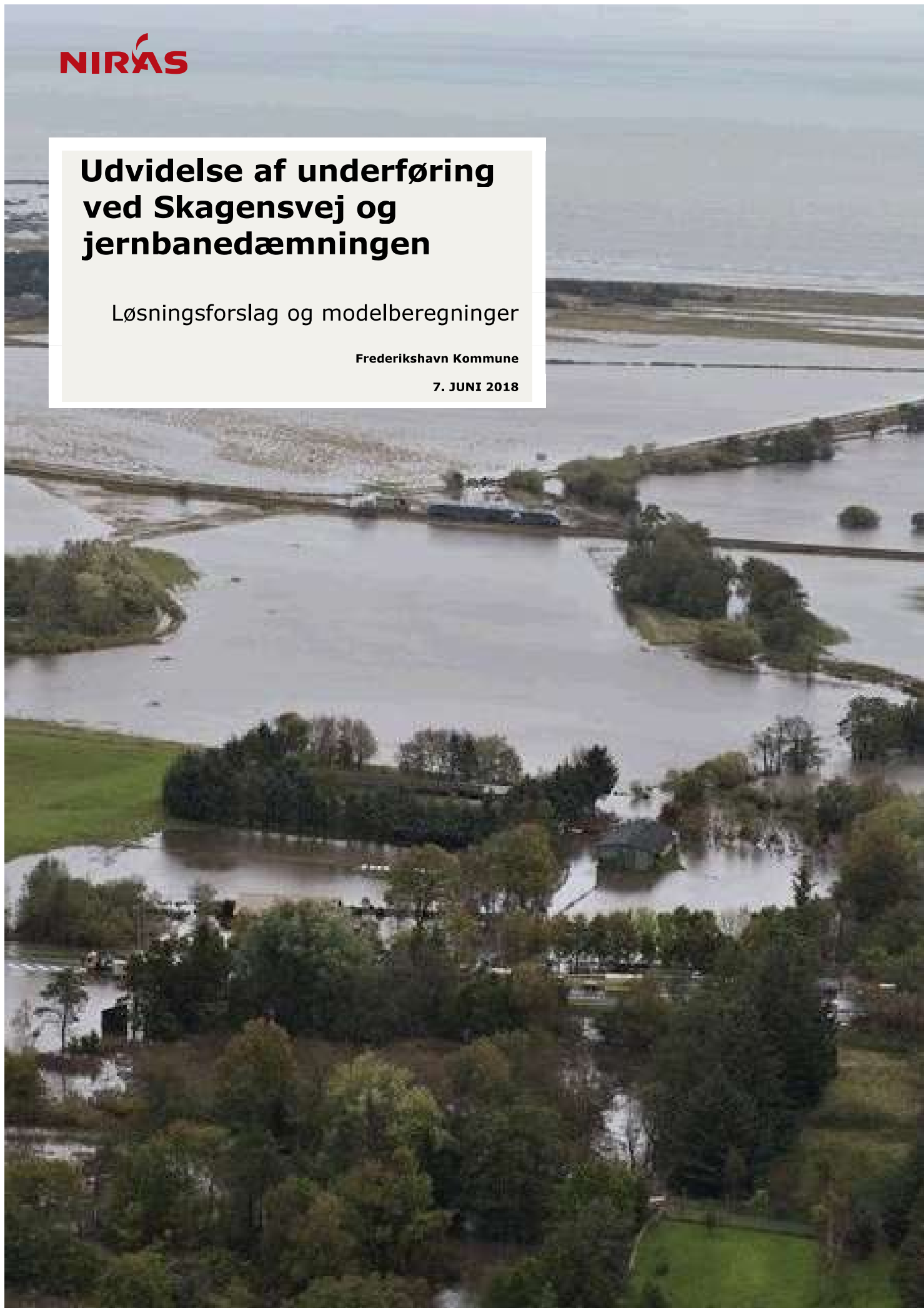


Udvidelse af underføring ved Skagensvej og jernbanedæmningen

Løsningsforslag og modelberegninger

Frederikshavn Kommune

7. JUNI 2018



Projekt nr.: 230182
 Dokument nr.: 1228441122
 Version 1
 Revision 4

Udarbejdet af DOS/HLT
 Kontrolleret af ERI/CMR/KMM
 Godkendt af TSV

Indhold

1	Baggrund	5
2	Ekstremværdianalyse	6
2.1	Analyse af historiske vandføringsdata	6
2.1.1	Data	6
2.1.2	Metode	7
2.1.3	Resultat	7
2.2	Analyse af historiske nedbørshændelser	8
2.2.1	Data	8
2.2.2	Metode	9
2.2.3	Resultat	9
2.3	Vurdering af gentagelsesperiode	9
2.4	Vurdering af afstrømning	10
3	Baggrundsmodel	11
3.1	Opsætning af lokalmode for projektområdet	12
3.2	Manningtal	12
3.3	Udledning fra Mosegrøften	13
4	Referencescenarie: Udgravning af Elling Å mellem Skagensvej og Jernbanebroen	14
4.1	Ændring i vandløbsprofiler	14
4.2	Resultat	16
4.2.1	Effekt af udgravning	16
4.2.2	Vurdering af potentialet for tiltag	17
5	Løsningsforslag	19
5.1	Skagensvejsbroen	20
5.1.1	Grundlag	20
5.1.2	Eksisterende bygværk	20
5.2	Jernbanebroen og dæmningen	22
5.3	Løsningsforslag 1: Etablering af ny underføring	23
5.3.1	Beskrivelse	23
5.3.2	Udførelse	24
5.3.3	Anlægsøkonomi	24
5.3.4	Resultat	25
5.4	Løsningsforslag 2: Hævning af brodæk ved fastholdelse af vejkode	26

5.4.1	Beskrivelse	26
5.4.2	Udførelse	28
5.4.3	Anlægsøkonomi	28
5.4.4	Resultat	29
5.5	Løsningsforslag 3: Udskiftning af brodæk samt hævning af overført vej	29
5.5.1	Beskrivelse	29
5.5.2	Udførelse	30
5.5.3	Anlægsøkonomi	30
5.5.4	Resultat	31
5.6	Løsningsforslag 4: Etablering af 3 nye underføringer i jernbanedæmningen	31
5.6.1	Beskrivelse	31
5.6.2	Udførelse	32
5.6.3	Anlægsøkonomi	33
5.6.4	Resultat	33
5.7	Klimafremskrivning af afstrømningen	33
5.8	Sammenligning af løsningsforslag	35
6	Forhøjet havvandstand	37
7	Opsummering	38
8	Konklusion	39
9	Anbefalinger	39
10	Referencer	40

Bilag

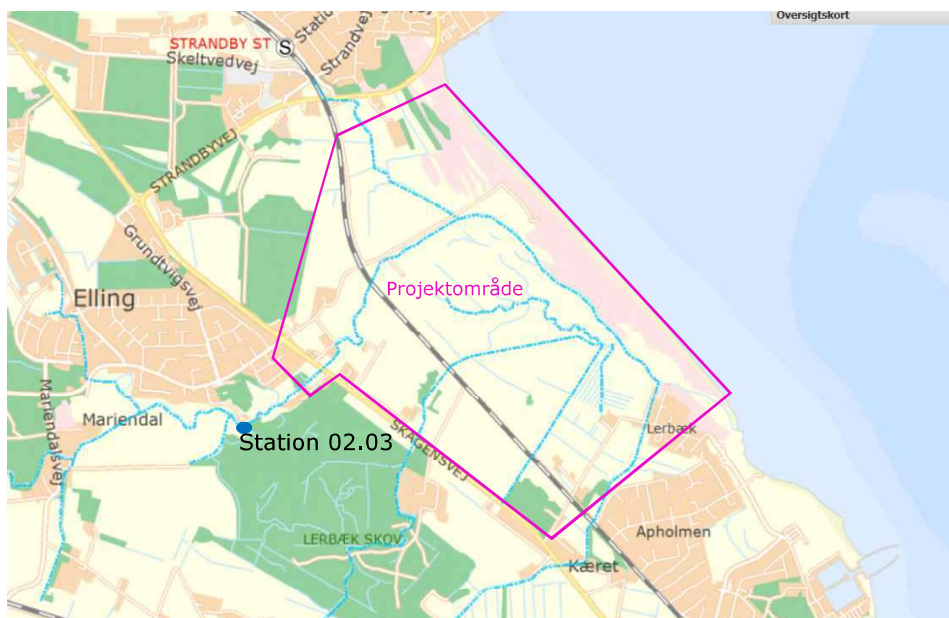
- Bilag 1. Scenarie 2015: Simuleret maksimal vandstand
- Bilag 2. Referencescenarie 2017: Simuleret maksimal vandstand efter udgravning af Elling Å mellem Skagensvej og jernbanen.
- Bilag 3. Referencescenarie 2017: Simuleret ændring i maksimal vandstand efter udgravning af Elling Å mellem Skagensvej og jernbanen.
- Bilag 4. Løsningsforslag 1: Simuleret ændring i maksimal vandstand ved etablering af ny underføring ved Skagensvej med frit tilløb fra Elling Å.
- Bilag 5. Løsningsforslag 2: Simuleret ændring i maksimal vandstand ved hævnning brodæk ved Skagensvej med 28 cm.
- Bilag 6. Løsningsforslag 3: Simuleret ændring i maksimal vandstand ved hævnning brodæk ved Skagensvej med 38 cm.
- Bilag 7. Løsningsforslag 4: Simuleret ændring i maksimal vandstand ved etablering af tre nye underføringer i jernbanedæmningen.
- Bilag 8. Klimascenarie – median: Simuleret maksimal vandstand for referencescenarier med en median klimafaktor.
- Bilag 9. Klimascenarie – våd: Simuleret maksimal vandstand for referencescenarier med en høj klimafaktor.
- Bilag 10. Forhøjet havvandstand i kote 1 m: Simuleret ændring i maksimal vandstand ved en havvandstand i kote 1 m.
- Bilag 11. Forhøjet havvandstand i kote 1,5 m: Simuleret ændring i maksimal vandstand ved en havvandstand i kote 1,5 m.

1 Baggrund

Ekstreme regnhændelser i oplandet til Elling Å medfører høje vandstande og oversvømmelser, specielt i den nedstrøms del af vandløbsoplandet, som det skete i oktober 2014. Analyser af hændelsen i 2014 resulterede bl.a. i en anbefaling af etablering af diger mellem Elling og åen, for at undgå oversvømmelser af Elling, /1/. Fra Elling ud til kysten er landskabet meget fladt, og ved store vandføringer oversvømmes store dele af arealerne mellem byen og kysten.

På oversigtskortet i Figur 1.1. ses, at området gennemskæres af jernbanen mellem Frederikshavn og Skagen, som danner en dæmning gennem området med enkelte underføringer, hvor vandet stuver op bag jernbanen. Ligeledes medfører underføringen under Skagensvej, at der ved ekstreme regnhændelser kan stuve vand op ved byen. Der er bekymring for, at digerne ikke vil kunne klare fremtidige ekstreme regnhændelser eller regnhændelser sammenfaldende med høj havvandstand. Der ønskes derfor en løsning, hvor vandet i Elling Å hurtigere transporteres nedstrøms i vandløbet for at mindske oversvømmelsesrisikoen for Elling.

Figur 1.1: Oversigtskort med angivelse af projektområde.



Det ønskes undersøgt om maksimalvandstanden opstrøms Skagensvej kan sænkes ved at reducere gradienten på vandspejlet enten ved at reducere modstanden ved broerne eller i vandløbet. For at reducere modstanden i vandløbet nedstrøms Skagensvej er der foretaget en udgravning af vandløbet mellem Skagensvej og jernbanen.

For at reducere modstanden ved Skagensvejsbroen undersøges, om det giver en effekt at udvide vandsluget i broen, enten i form af en udvidelse af vandsluget i den eksisterende underføring (lysvidde eller -højde) eller ved etablering af en ekstra underføring, som evt. kun tages i brug, når vandstanden stiger over en given kote. Dimensionen på en parallelle underføring kan reduceres ved anvendelse af en propelpumpe, sidstnævnte er dog ikke uddybet nærmere her, da simple løsninger foretrækkes. Desuden undersøges tiltagenes påvirkning på jernbanebroen.

Ved jernbanedæmningen undersøges ligeledes om opstuvningen bag jernbanedæmningen kan reduceres, ved enten at etablere yderligere underføringer i dæmningen eller om nødvendigt at udvide vandsluget ved jernbanebroen.

Undersøgelserne af disse løsningsforslag er beskrevet i dette notat.

2 Ekstremværdianalyse

Der er indledningsvist udført en ekstremværdianalyse ved en statistisk analyse af historiske vandføringsdata for Elling Å, for om muligt at undersøge sammenhængen mellem døgnmiddelvandføring og gentagelsesperiode.

Der er ligeledes foretaget en analyse af gentagelsesperioden for nedbørshændelsen ud fra nedbørsmålinger fra Frederikshavn. Anvendelse af nedbørsdata til analyse af gentagelsesperiode for afstrømningshændelser er dog mere usikker, idet nedbør, og især ekstrem nedbør, kan optræde meget lokalt, og derfor ikke nødvendigvis afspejler afstrømningen fra et større opland.

De to analyser er sammenholdt med beskrivelser af observationer med høje vandstande og oversvømmelser ved Elling for at give et estimat af en gentagelsesperiode for 2014-hændelsen.

2.1 Analyse af historiske vandføringsdata

2.1.1 Data

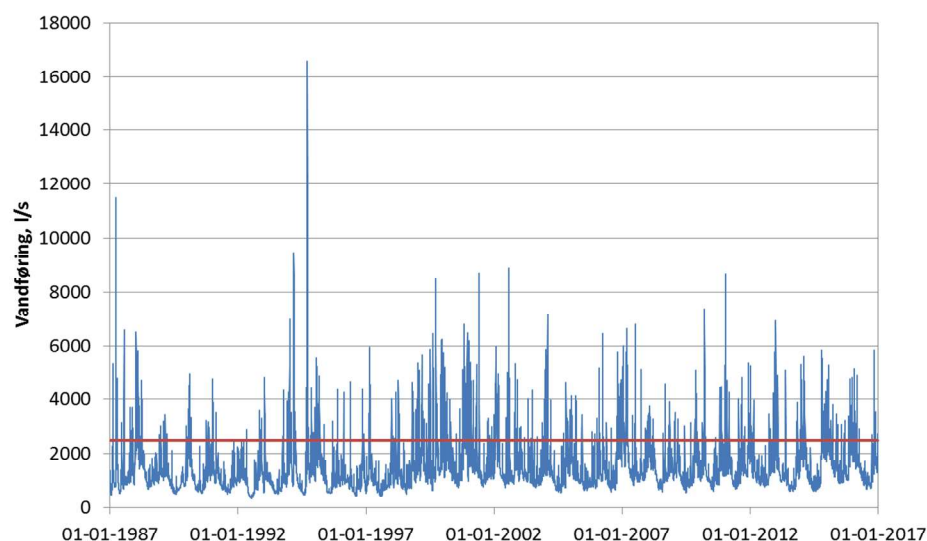
Fra projektet med klimatilpasning af Elling Å i 2015, /1/, haves data for døgnmiddelvandføring fra vandløbsstation 02.03 ved Elling Kirke for perioden 1987-2009. Placering af vandløbsstationen ses af oversigtskort i Figur 1.1

Fra Danmarks Miljøportal er hentet yderligere vandføringsdata fra den samme station for perioden 2007-2016, /3/. Der er overensstemmelse mellem data for de år, hvor der er overlap i tidsserierne.

Tidsserien af vandføringsdata består herved af data fra en 30 årig periode 1987-2016, Figur 2.1. Vandføringsdata (Q) er bestemt ud fra målinger af vandstanden (H) og Q/H-relation for vandløbsstationen. Q/H-relationer er gældende inden for normalvandstande, hvor relationen er etableret, mens den er mere usikker ved højvande, og ikke pålidelig når brinkerne i vandløbet oversvømmes. Det forventes derfor, at vandføringen ved de høje vandstande i både september 1994 og oktober 2014 er højere end registreret ved vandløbsstationen, idet en del af afstrømningen er sket på terrænen uden for vandløbsprofilen. Af Figur 2.1 fremstår hændelsen i oktober 2014 ikke som ekstrem, som det ses med hændelsen i 1994. Dette skyldes sandsynligvis, at vandløbsstationen stod under vand ved oversvømmelsen i oktober 2014, og derfor ikke registrerede en korrekt vandstand.

Figur 2.1: Døgnmiddelvandføring for vandløbsstation 02.03 Elling Kirke (blå).

Tærskelværdi anvendt i ekstremværdianalysen (rød)



2.1.2 Metode

Der findes forskellige metoder til ekstremværdianalyse af vandføringsdata for at give et estimat af maksimum-afstrømningen svarende til forskellige gentagelsesperioder. Eksempelvis anvendes ofte POT-metoden ("Peak Over Threshold") eller årsmaksimumsværdier til udvælgelse af de data, der analyseres. Med POT-metoden anvendes i analysen alle de værdier, der overskrider en tærskelværdi, mens analysen på årsmaksimumsværdier baseres på den maksimale værdi for hvert kalenderår. Efterfølgende fittes en fordelingsfunktion til de udvalgte data, og analyser har vist, at *den generaliserede Pareto-fordeling* er den bedste sandsynlighedsfordeling til modellering af overskridelser over en fastsat tærskelværdi.

Til udførelse af ekstremværdianalysen for vandføringsdata fra Elling Å, målestation 02.03, er POT-metoden anvendt. Denne metode er ligeledes anvendt i GEUS' rapport til vurdering af klimafaktorer, /4/.

Data er udvalgt upåagtet, hvornår de forekommer, men analysen forudsætter uafhængighed i data. Døgnmiddelvandføringer er dog autokorrelerede, fordi store afstrømninger i de fleste vandløbsoplande er bygger op over flere døgn og derved indgår i en tidslig afhængighed. Udvalgelsen af observationer er derfor foretaget inden for tidsblokke, hvor maksimum indenfor hver tidsblok er udvalgt, mens øvrige målinger i tidsblokken er forkastet som tidsafhængige data.

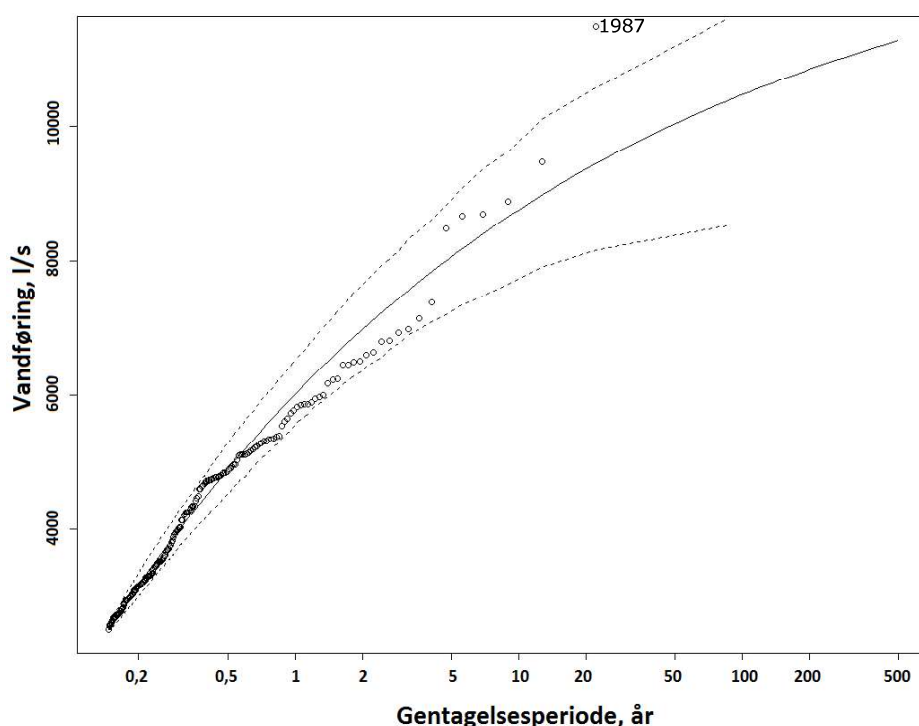
Tærskelværdien fastsættes på baggrund af et Pareto Quantile Plot, hvor data følger en lineær kurve. Et Pareto Quantile Plot er en grafisk metode til inspektion af parametrene for en Pareto-fordelingen. Gentagelsesperioden kan efterfølgende beregnes på baggrund af fordelingsfunktionen for Pareto-fordelingen.

2.1.3 Resultat

I analysen anvendes tidsblokke á 10 døgn og en tærskelværdi på 2.500 l/s. På Figur 2.1 er tærskelværdien indtegnet, og det fremgår, at alle større afstrømningshændelser indgår i analysen. Resultatet af analysen fremgår af Figur 2.2 med sammenhæng mellem gentagelsesperiode og døgnmiddelvandføringen.

Figur 2.2: Sammenhæng mellem døgnmiddelvandføring og gentagelsesperiode bestemt ved POT-metoden. Fuldt optrukket linje angiver den beregnede sammenhæng ved analysen, stiplede linjer angiver usikkerhedsspændet og punkter angiver observationer.

Bemærk at observationen fra 1994 på 16.580 l/s ligger uden for plottet.



Det ses, at ekstremværdierne for 1987 og 1994 falder uden for usikkerhedsintervallet (bemærk at hændelsen fra 1994 ikke ligger inden for plottet). Vandføringsdata fra ekstremhændelsen i oktober 2014 vurderes, som beskrevet ovenfor, ikke at være korrekt repræsenteret i tidsserien, og analysen giver herved ikke et entydigt svar på en vurdering gentagelsesperioden for 2014-hændelsen. Ud fra observationer af oversvømmelsen er hændelsen i 2014 dog vurderet til at være af samme størrelsesorden som hændelsen fra 1994, og denne ville ligeledes ligge uden for usikkerhedsintervallet.

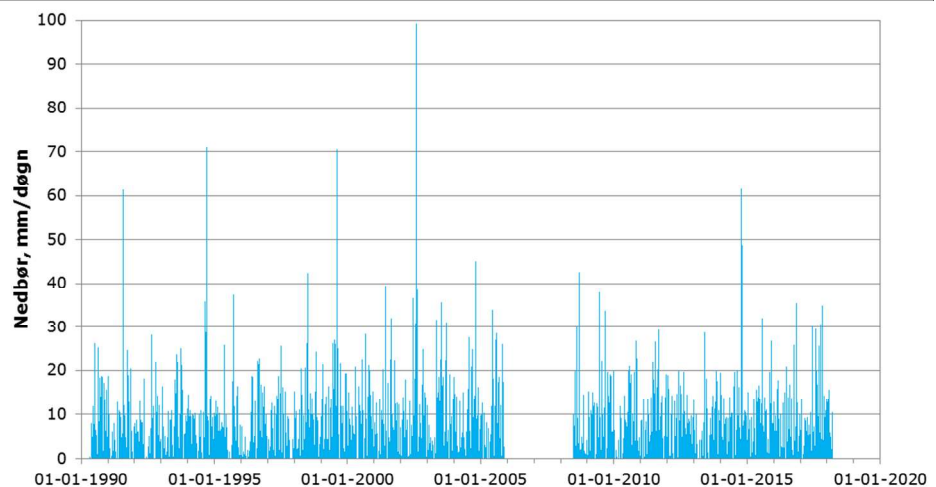
Ved ekstremværdianalyser ses det ofte, at de største hændelser i en tidsserie ligger uden for usikkerhedsintervallet, idet gentagelsesperioden for disse hændelser er større end længden af tidsserien. Ifølge analysen skulle de tre største hændelser dog have en gentagelsesperiode på over 500 år, men der er en betydelig usikkerhed forbundet med ekstrapolation af gentagelsesperioder større end længden af tidsserien, og analysen vurderes derfor for usikker til vurdering af ekstremhændelser for Elling Å, der har en gentagelsesperiode større end 20 år.

2.2 Analyse af historiske nedbørshændelser

2.2.1 Data

I projektet med klimatilpasning af Elling Å i 2015, /1/, blev der fra Spildevandskomitéens regnmålersystem, /5/, hentet nedbørsdata fra en målestation i Frederikshavn, stationsnr. 5025. Tidsserien dækker over perioden 1990-2015 med undtagelse af en treårig periode fra november 2005-juni 2008, hvor der ikke findes data. Tidsserien er opdateret med data frem til d.d. Nedbørstidsserien består herved af data fra en 25 årig periode, Figur 2.3.

Figur 2.3: Nedbørsmåling i mm/døgn fra stationnr. 5025 i Frederikshavn.



De store afstrømninger, der har medført høje vandstande og oversvømmelser, stammer typisk fra regnhændelserne af flere dages varighed. Der er derfor foretaget en summering af nedbøren over de 2-5 døgns hændelserne varede.

De tre største nedbørshændelser, der er registeret i den 25 årige periode, er:

- 11.-16. september 1994: 128 mm
- 1.-2. august 2002: 126 mm
- 15-17. oktober 2014: 113 mm

Det bemærkes, at regnhændelsen i august 2002 ikke markant skiller sig ud i tidsserien for afstrømning, Figur 2.1, men det berettes, at regnhændelsen medførte høje vandstanden, der var tæt på at give oversvømmelser af boligområder i Elling.

2.2.2 Metode

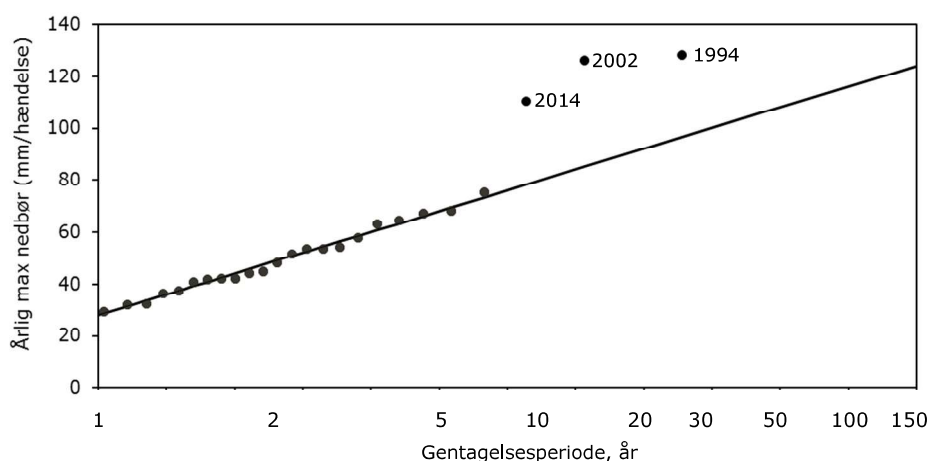
Til den statistiske analyse af regnhændelserne er anvendt årsmaksimumsværdier, hvor regndybden af den maksimale nedbørshændelse inden for hvert kalenderår indgår i den statistiske analyse.

2.2.3 Resultat

Den statistisk analyse af årsmaksimumsværdierne for regnhændelserne viser, at data op til en gentagelsesperiode på ca. 10 år følger den statistiske sammenhæng mellem gentagelsesperiode og nedbørsdybde inden for regnhændelsen, Figur 2.4.

De tre største hændelser er ikke medtaget i analysen, idet gentagelsesperioden, som ved analysen af afstrømning, vurderes større end længden af tidsserien. Ud fra analysen vurderes, at 2014-hændelsen har en gentagelsesperiode på ca. 60 år og 1994- og 2002-hændelserne gentagelsesperiode på ca. 160 år. Det vurderes, at den statistiske analyse af regnhændelserne bliver meget usikker, når den anvendes til vurdering af ekstremhændelserne med gentagelsesperiode større end 10-20 års, hvor der ekstrapoleres ud over tidsseriens længde.

Figur 2.4: Sammenhæng mellem nedbørshændelse og gentagelsesperiode



2.3 Vurdering af gentagelsesperiode

Ud fra de ovenstående ekstremværdianalyser vurderes regnhændelsen i oktober 2014 at have en gentagelsesperiode på ca. 60 år, mens afstrømningshændelsen ikke kan vurderes pga. manglende data. Tilsvarende hændelse i 1994 vurderes med analysen at have en gentagelsesperiode på mere end 500 år. Det vurderes dog, at der er en betydelig usikkerhed ved analyserne til bestemmelse af gentagelsesperioder større end 20 år.

Sammenligning af resultaterne fra analyserne med observationer vil kunne give en vurdering af risikoen for tilsvarende hændelser. Det berettes, at der har været oversvømmelser i Elling ca. hvert 20 år gennem de seneste 60 år, og at Elling Å før udbygningen af Elling oversvømmede ådalen ved byen, der nu delvis er bebygget. Regnhændelserne i 1994 og 2014 medførte betydelige oversvømmelser af veje og boliger i Elling, mens hændelsen i 2002 medførte høje vandstande, der kun var tæt på at oversvømme de lavest liggende boliger, på trods af at regnhændelsen ved målerstationen i 2002 var større end hændelsen i 2014.

I denne sammenhæng er det afgørende, hvor udbredt regnhændelsen var inden for oplandet, og hvad vandløbsoplandets tilstand var inden hændelsen i forhold vandmætning af jorden, vandstanden i vandløbet og i evt. våde områder, der virker som naturlige reservoir. I modsætning til nedbørshændelsen i 2002, er ekstremhændelsen i 1994 og 2014 vurderet at være en koblet nedbørshændelse, idet

der ligeledes var faldet en del nedbør i ugerne op til hændelserne. Jorden i vandløbsoplandet var derfor mættet med øget afstrømning til følge.

I de seneste 1½ år efter etablering af digerne er der observeret flere hændelser med betydelig forhøjet vandstand i Elling Å, som har betydet, at beredskabet har måtte rykke ud med pumper. Dette er sket i november 2016, oktober 2017 og januar 2018, hvoraf de to første hændelser ses i Figur 2.3 med en nedbør på 35 mm/døgn, og den seneste hændelse med en nedbør på 15 mm/døgn som kulmination på flere dage med store regnmængder. Vandstanden har været kritisk høj trods disse mindre regnhændelser.

Ud fra ekstremværdianalysen af regnhændelsen samt beretninger om historiske oversvømmelser vurderes 1994- og 2014-hændelserne at have en gentagelsesperiode på mellem 30-100 år i et nuværende klima. I et fremtidigt klima forventes frekvensen af ekstremhændelser at stige, hvorved en hændelse svarende til 2014-hændelsen vil forventes at indtræffe oftere.

2.4 Vurdering af afstrømning

I rapporten for Bangsbo Å, /9/, er tilsvarende konklusioner draget, hvor 1994-hændelsen betegnes som en 100 års-hændelse.

For Bangsbo Å er den øjeblikkelige maksimale arealspecifikke afstrømning vurderet til mellem 402-536 l/s/km². Skaleres disse værdier med forholdet mellem den vurderede 100-års døgnmiddelafløb for de to oplande, svarer dette til 350-470 l/s/km² for Elling Å. Med et opland på 123 km² ved vandløbsstationen 02.03 ved Elling Kirke medfører dette en øjeblikkelige maksimal vandføring på 43-58 m³/s.

I modelberegningerne for Elling Å systemet fra 2015, /1/, er den øjeblikkelige maksimale afstrømningen ved vandløbsstationen 02.03, der medfører en oversvømmelse svarende til den observerede, bestemt til ca. 42 m³/s, svarende til en arealspecifikke afstrømning på 340 l/s/km². Den maksimale gennemsnitlige døgnvandføringen er bestemt til 23 m³/s. Disse værdier stemmer overens med vurderingerne i forbindelse med analysen ved Bangsbo Å.

3 Baggrundsmodel

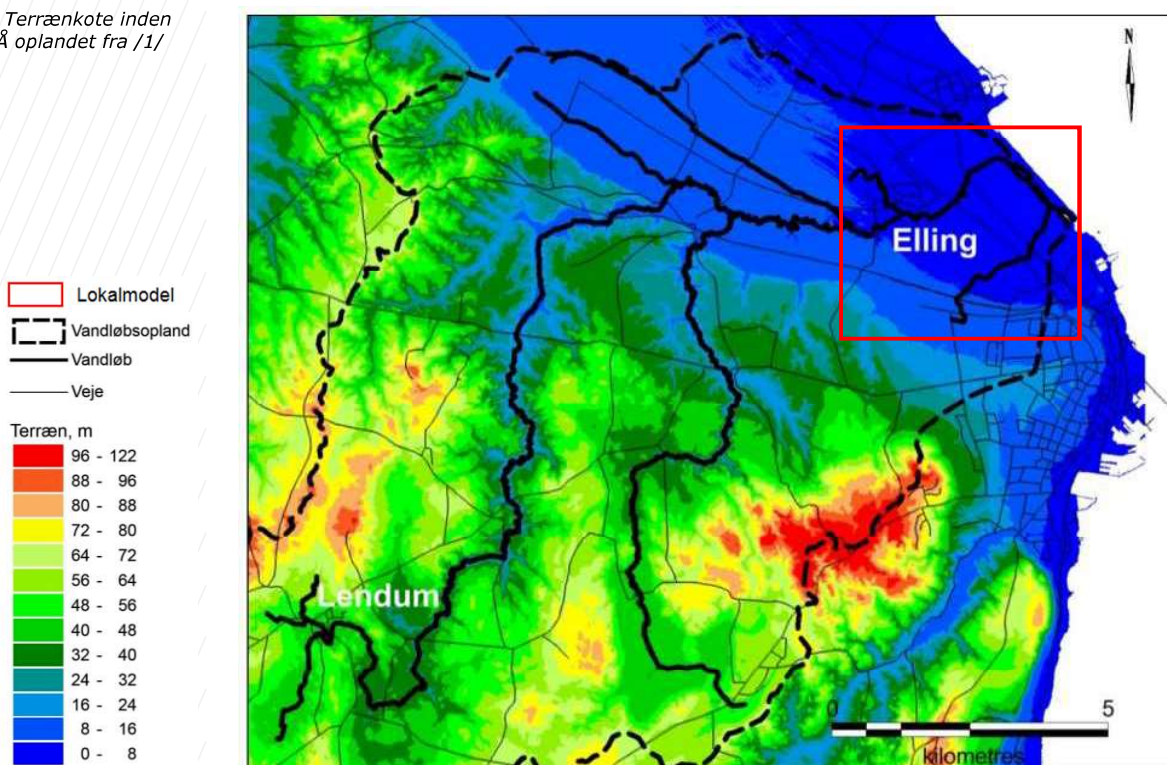
Modelberegningerne i det nedenstående tager udgangspunkt i modellen for hele Elling Å systemet udarbejdet i 2015, /1/, hvor beregninger foretaget i november 2015 inddrager den aktuelle placering af diger, der blev etableret i 2016/2017, se Figur 3.1.

Figur 3.1: Placering af diger med Elling



Modellen er opsat i MIKE FLOOD, som kobler en vandløbsmodel og overflademodel, der kan beregne oversvømmelse på terræn. Modellen dækker hele oplandet til Elling Å, som vist i Figur 3.2. Af figuren ses ligeledes terrænkoten, hvor det fremgår, at området omkring Elling ligger lavt i forhold til det øvrige opland.

Figur 3.2: Terrænkote inden for Elling Å oplandet fra /1/



Beregningen simulerer hændelsen fra oktober 2014 i et fremtidigt klima med hav- og grundvandsstigning på +0,5 m (Scenarie 2 i /1/).

3.1 Opsætning af lokalmodel for projektområdet

I dette projekt er fokusområdet omkring Elling og ud til kysten, Figur 1.1. Der er derfor opsat en lokalmodel, som er afgrænset fra ca. 200 m opstrøms Mariendal Mølle til kysten, således at modellen medtager de nedstrøms 5 km af Elling Å, Mosegrøften samt Lerbæk, Figur 3.3. Placering af randbetingelsen opstrøms stemmeværket ved Mariendal Mølle betyder, at ændringer inden for projektområdet ikke påvirker randbetingelsen.

Figur 3.3: Oversigtskort over lokalmodellen og projektområdet.



Indstrømningen til lokalmodellen er hentet fra baggrundsmodellen beskrevet ovenfor. Opsætning af en lokalmodel medfører en betydelig afkortning af beregningstiden.

3.2 Manningtal

I oversvømmelsesmodellen er Manningtallet anvendt som udtryk for overfladeruheden på de oversvømmede arealer. Dette svarer til en modstand i strømmingen som følge af bl.a. irregulariteter i terræn, hindringer på terræn og beplantning i form af græs, buske og træer. Ofte anvendte værdier for Manningtallet for strømning på terræn ligger i intervallet $1-40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, $/6/$ og $/7/$, med de mindste værdier for områder med træer og buske ($M=1-10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$), middelværdierne for græs- og landbrugsområder med middel til høj bevoksning ($M=5-20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$), og de største værdier for eng og landbrugsområder uden eller med meget kort bevoksning ($M=20-40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$). I områder af blandet karakter kan anvendes en middelværdi for området.

I modellen fra 2015 er anvendt den samme værdi på $5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ for Manningtallet i tid og sted, selvom den i praksis varierer fra lokalitet til lokalitet samt med stigende vandstand. Den anvendte modstand er realistisk for områder med store ujævnheder og høj beplantning i forhold til vandstanden, hvilke generelt er tilfældet for

den opstrøms del af oplandet til Elling Å, mens modstanden ligger i den høje ende for jævne områder, samt når vandstanden stiger, som er tilfældet i den nedre del af oplandet. Datagrundlaget for anvendelse af et varierende Manningtal er dog mangelfuldt, og beregningerne betragtes derfor som et konservativt bud på strømningen i terræn, idet anvendelse af en mindre modstand vil medføre en øget strømning på terræn og derved en lavere vandstand.

Der er for lokalmodellen foretaget en test med et Manningtal for strømning på terræn på $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, der bedre beskriver terrænforholdene inden for projektområdet, dvs. med en mindre modstand end anvendt i 2015-beregningerne. Denne ændring medfører, at den maksimale vandstand nedstrøms Skagensvej sænkes med op til 17 cm (i gennemsnitlig 6 cm). Ved Skagensvej medfører dette, at den maksimale vandstand sænkes med 10 cm.

I de følgende beregninger er anvendt et Manningtal på $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ inden for lokalmodelområdet, da den maksimale vandstand i store dele af projektområdet overstiger beplantningen, og modstanden derfor reduceres, når vandstanden stiger.

3.3 Udledning fra Mosegrøften

I forbindelse med etablering af diger blev der ved Mosegrøften indsat en højvandslukke og etableret regnvandssø til håndtering af afstrømningen fra oplandet. Til de tidspunkter, hvor vandstanden i Elling Å er højere end i Mosegrøften lukkes ventilerne og vandet ledes til regnvandssøen. Når denne er fyldt skal vandet herfra pumpes over diget til Elling Å. I modelberegningerne fra 2015 blev vandet fjernet fra modellen og derfor ikke håndteret videre. Dette blev vurderet til at være en acceptabel antagelse, idet denne mængde udgjorde en mindre del (op til $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$) af den samlede vandføring i Elling Å. De øvrige regnvandsudledninger fra Elling blev bibeholdt i modellen.

Som baggrund til de videre beregninger er der udført en modelberegning, hvor det oppumpede vand bag diget ved Mosegrøften er tilført Elling Å ved udløbet fra Mosegrøften, og modelopsætningen herfor er anvendt.

Ved udløbet fra Mosegrøften medfører den ekstra vandmængde, der udpumpes fra Mosegrøften til Elling Å, at den maksimale vandstand stiger mindre end 1 cm. Resultatet fra denne modelberegning kaldes i det efterfølgende "Scenarie 2015", svarende til beregningerne udført i 2015. Den maksimale vandstandskote er vist i Bilag 1. Ved jernbanebroen er den maksimale vandstand i ca. kote 1,89 m, ved Skagensvej i ca. kote 2,94 m og ved Vestergårdsvej i kote 4,2-4,3 m.

4 Referencescenarie: Udgravning af Elling Å mellem Skagensvej og Jernbanebroen

For at forbedre vandgennemstrømningen blev bunden af Elling Å mellem Skagensvejsbroen og jernbanebroen udgravet i efteråret 2016 efter digerne var etableret.

Der er opsat en model til beskrivelse af de nuværende forhold. Resultaterne fra en beregning med regnhændelsen fra okt. 2014 og en fremskrevet havvand- og grundvandstand er anvendt:

- til sammenligning med beregning beskrevet ovenfor "Scenarie 2015" medtægende diger for at undersøge effekten af tiltaget med udgravningen af vandløbet under en ekstremhændelse.
- til at bestemme maksimal opstuvning opstrøms Skagensvej og Jernbanebroen, hvilket giver en indikation af, hvor meget vandstanden i vandløbet kan reduceres ved supplerende tiltag ved broerne.
- som referencescenarie til at vurdere effekten af supplerende løsningsforslagene.

4.1 Ændring i vandløbsprofiler

Kommunen oplyser, at ved Skagensvej (st. 11440) er bunden af vandløbet gravet ud til kote -0,5 m og ved jernbanebroen (st. 12156) til kote -0,7 m, imellem broerne antages bunden at falde jævnt, medførende en hældning på 0,3 ‰. Brinkkoterne er bevaret og skrænterne antages udgravet med anlæg 1:1. For de vandløbsprofiler, hvor den opmålte bundkote (fra opmålingen i 2015) ligger under den beregnede kote ifm. udgravningen, anvendes bundkoten fra opmålingen, og er anlægget opmålt stejlede end 1:1, anvendes ligeledes opmålingen. I alt er 9 vandløbsprofiler ændret, se Figur 4.1. Det er muligt at kapaciteten af vandløbet kan øges yderligere ved etablering af dobbeltprofil.

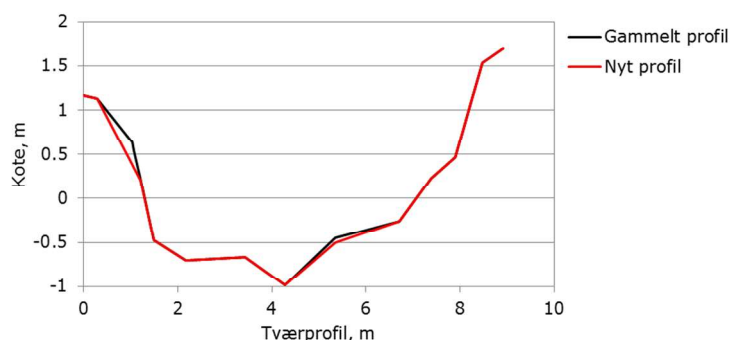
Udgravningen i modellen medfører, at der fjernes et volumen på ca. 1.200 m³ sedimenter i forhold til opmålingen fra 2015.

Figur 4.1: Ændring i vandløbsprofiler i forbindelse med udgravningen af vandløbet mellem Skagensvej og jernbanebroen

Station:
11428

Ny bundkote:
-0,5 m

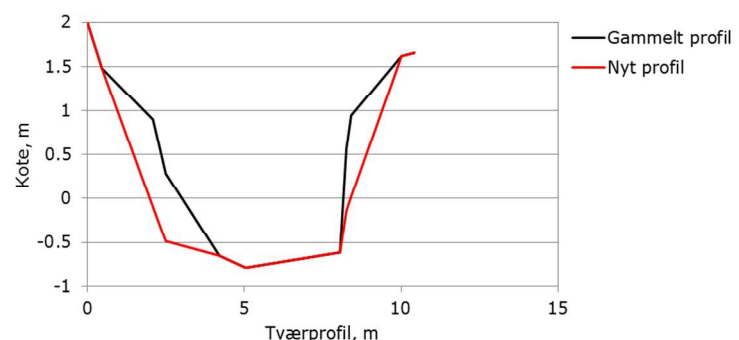
Umiddelbart
opstrøms
Skagensvej



Station:
11453

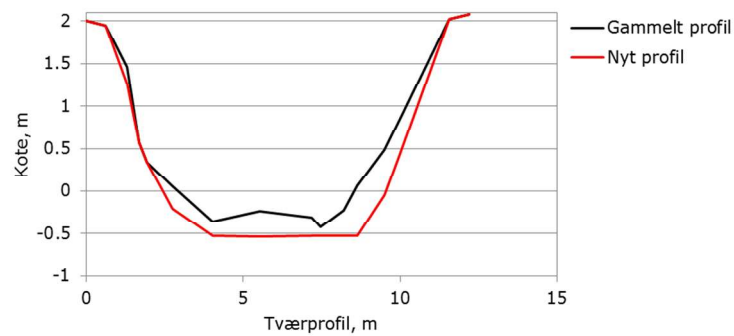
Ny bundkote:
-0,5 m

Umiddelbart
nedstrøms
Skagensvej



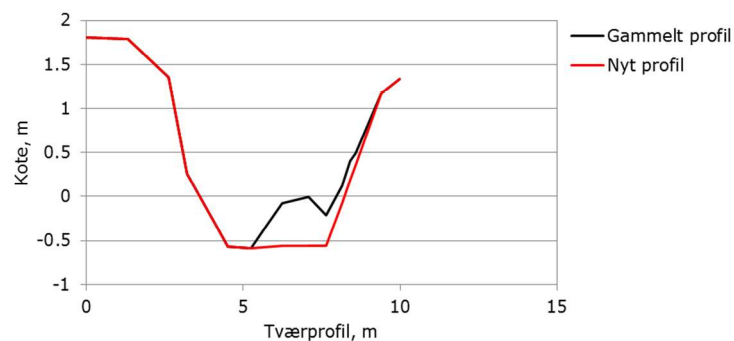
Station:
11551

Ny bundkote:
-0.53 m



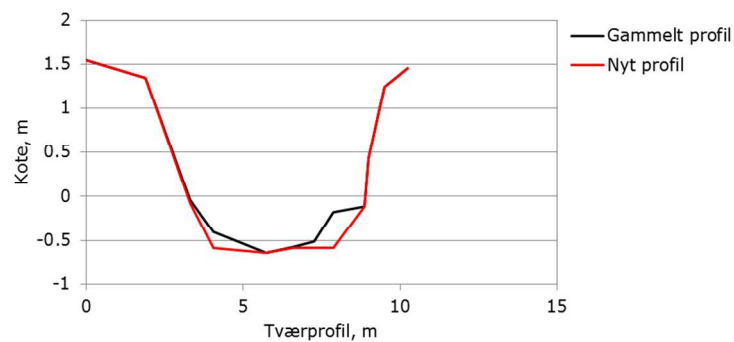
Station:
11659

Ny bundkote:
-0.56 m



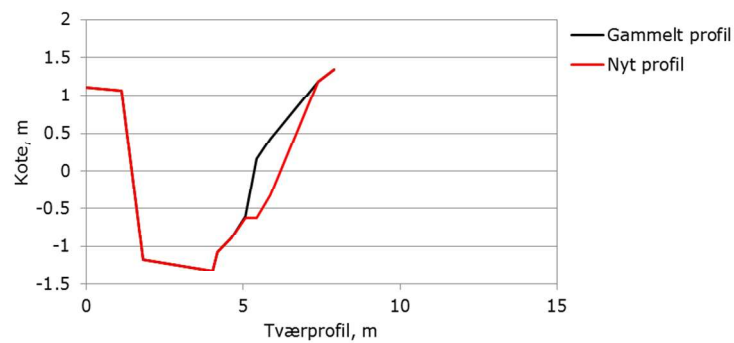
Station:
11767

Ny bundkote:
-0.59 m



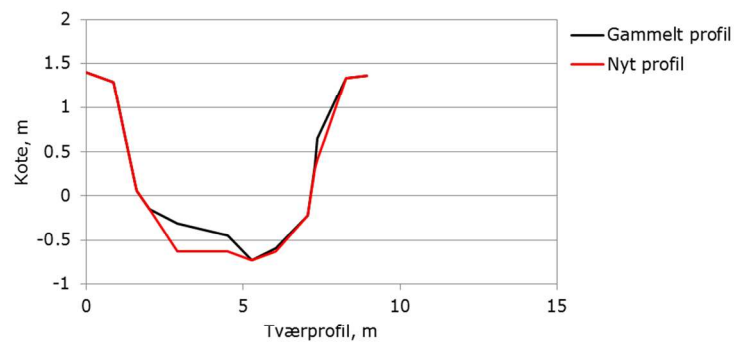
Station:
11906

Ny bundkote:
-0.63 m



Station:
12020

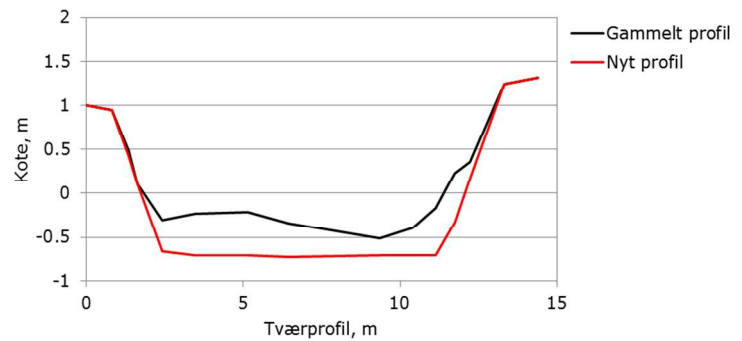
Ny bundkote:
-0.66 m



Station:
12151

Ny bundkote:
-0.70 m

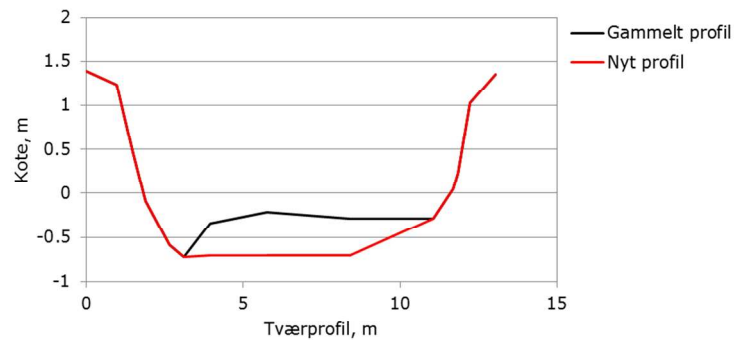
Umiddelbart
opstrøms
jernbanebroen



Station:
12162

Ny bundkote:
-0.7 m

Umiddelbart
nedstrøms
jernbanebroen

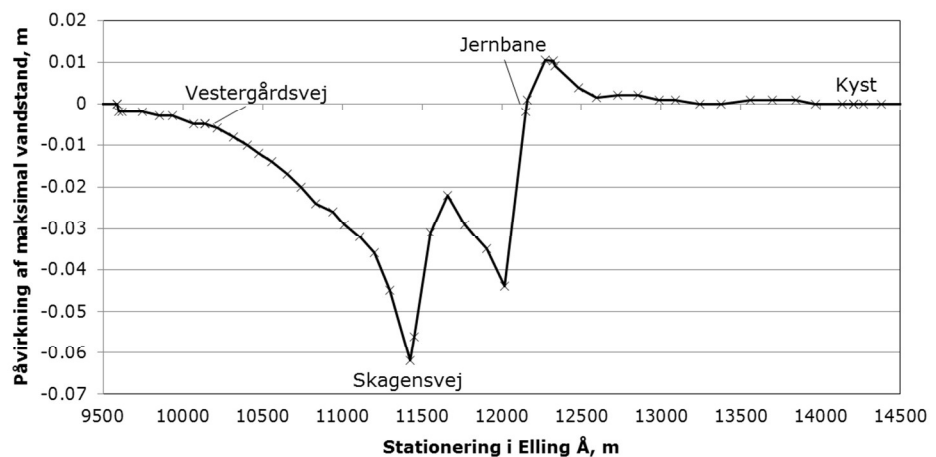


4.2 Resultat

4.2.1 Effekt af udgravning

Modelberegningen viser, at udgravningen af Elling Å mellem Skagensvej og jernbanebroen medfører et fald i vandstanden på strækningen med udgravningen samt opstrøms Skagensvej. Mellem Skagensvej og jernbanebroen påvirkes den maksimale vandstand med 2-6 cm, afhængig af udgravningens omfang i de enkelte profiler. Den største påvirkning ses ved Skagensvej med en lavere maksimal vandstand på 6 cm. Opstrøms Skagensvej falder påvirkningen til <1 cm ved Vestergårdsvej, se Figur 4.1. Nedstrøms jernbanebroen stiger vandstanden med op til 1 cm, som resultat af en mindre stigning i afstrømningen.

Figur 4.2: Påvirkning af den maksimale vandstand i Elling Å ved udgravning af vandløbsbunden mellem Skagensvej og jernbanebroen.



Den maksimale vandstandskote og ændringen i den maksimale vandstand i forhold til 2015-scenariet uden opgravning er vist i hhv. Bilag 2 og Bilag 3.

Ved udgravningen øges den maksimale vandføring med op til ca. 2 m³/s på den udgravede strækning af vandløbet, ved Skagensvejsbroen øges vandføringen med op til 0,6 m³/s.

4.2.2 Vurdering af potentialet for tiltag

Referencescenariet kan ligeledes anvendes til bestemmelse af den maksimale opstuvning opstrøms Skagensvej og Jernbanebroen uden tiltag. Dette giver en indikation af, hvor meget den maksimale vandstand i vandløbet kan reduceres for en hændelse svarende til oktober 2014 ved supplerende tiltag ved broerne. Ved en større hændelse vil effekten af evt. tiltag være større. Broerne og løsningsforslag herfor er beskrevet i detaljer i afsnit 5.

Ved Skagensvejsbroen sker der i referencescenariet en opstuvning af vand bag broen til kote 2,88 m. Underkanten af brodækket ligger ifølge opmålingen fra 2015 i kote 2,08-2,24 m, Tabel 5.1 (lavest i den nordlige side), hvorved vandet i scenariet står 60-80 cm op på brodækket, svarende til den blå linje på Figur 4.3. Det betyder, at vandet ikke kan passere frit under Skagensvejsbroen, hvilket medfører en opstuvning og begrænsning af vandføringen.

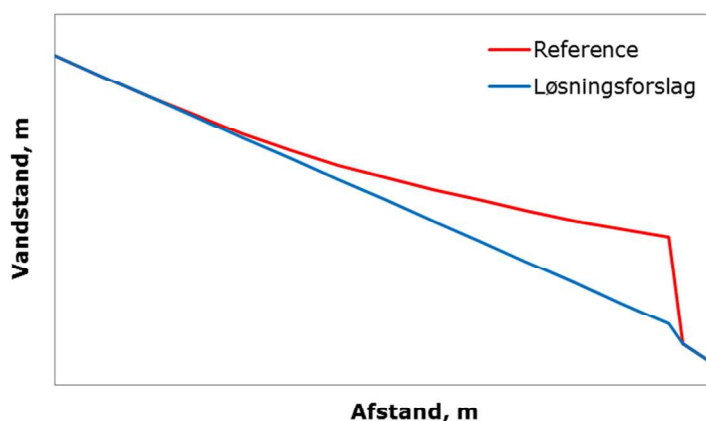
Figur 4.3: Beregnet maksimal vandstand ved Skagensvejsbroen over Elling Å for referencescenariet.



Den maksimale forskel i vandstanden mellem den op- og nedstrøms side af broen er i referencescenariet på 18 cm. Dette betyder, at selv om broen kunne hæves således, at der ville kunne skabes frit løb under broen, ville vandstanden for referencescenariet umiddelbart opstrøms broen maksimalt kunne sænkes med 18 cm. Ved større vandføringer, f.eks. ved en klimafremskrevet hændelse, vil effekten være større.

På den 1200 m strækning af Elling Å opstrøms Skagensvej fra Mosegrøften ved Vestergårdsvej til Skagensvej har vandløbsbunden en gennemsnitlig hældning på ca. 1‰. Ved den maksimale vandstand er der ligeledes en hældning på vandspejlet på ca. 1‰, svarende til en forskel i vandspejlet på ca. 1,2 m fra Mosegrøften til Skagensvej. En maksimal sænkning af vandspejlet på op til 18 cm ved Skagensvej vil forplante sig opstrøms, men effekten vil aftage med afstanden til Skagensvej, som eksemplet viser i Figur 4.4. Jo større gradient på vandspejlet er, jo kortere en strækning vil påvirkes af sænkningen i vandspejlet.

Figur 4.4: Eksempel på hvordan sænkning/stigning i vandspejlet forplanter sig opstrøms i vandløbet.



Ved at øge vandsluget i broen ved Skagensvej vil vandføringen under høje vandstande ligeledes øges med en forbedret afledningen til østsiden af Skagensvej til følge.

Ved jernbanebroen sker der i referencescenariet en opstuvning af vand bag broen til kote 1,89 m. Underkanten af brodækket ligger ifølge opmålingen i kote ca. 1,8 m, hvorved vandet i scenariet står ca. 10 cm op på brodækket, svarende til den blå linje på Figur 4.5. Jernbanebroen er derfor ikke begrænsende i samme grad som Skagensvejsbroen.

Figur 4.5: Beregnet maksimal vandstand ved Jernbanebroen over Elling Å for reference-scenariet.



Jernbanedæmningen medfører dog, at vandet på terræn stuver op bag dæmningen med en forskel i vandspejlskote i referencescenariet på 50-60 cm fra øst til vest for jernbanen, som det ses af Bilag 2. Der findes som beskrevet nedenfor i 5.2 en række øvrige underføringer både nord og syd for Elling Å, som leder vand fra mindre vandløb og drækanaler under jernbanen. I beregningerne er kun den nordligste underføring medtaget, da den har en dimension på 1 m, mens de øvrige er betydelig mindre (30-50 cm).

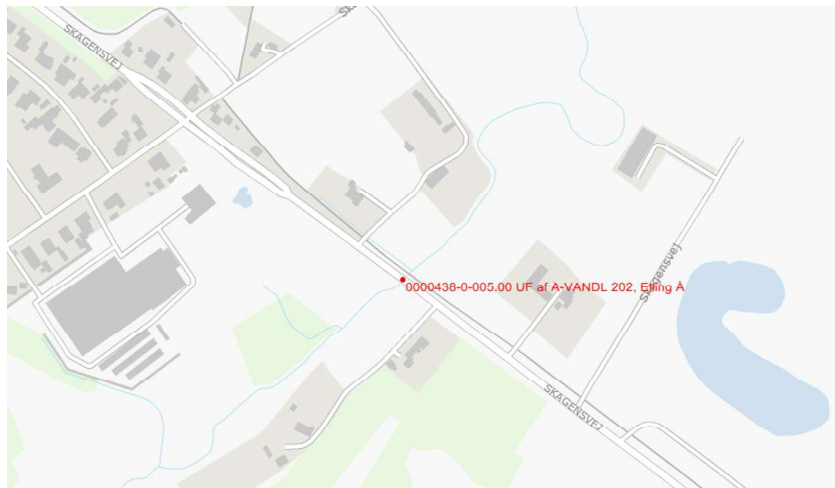
Den ovenstående beregningen anvendes i det efterfølgende som referencescenarie for vurdering af løsningsforslagene.

5 Løsningsforslag

Ekstreme regnhændelser i Elling Å oplandet medfører høje vandstanden og oversvømmelser i den nedstrøms del af vandløbsoplandet ved Elling. Ved de højeste vandstande er broen ved Skagensvej begrænsende for vandføringen. Ved at reducere modstanden ved Skagensvejsbroen kan vandføringen ved broen øges og derved sænke vandstanden opstrøms broen, og tilsvarende ved jernbanedæmningen.

Broen ved Skagensvej er placeret, som angivet på i Figur 5.1 og fører Rute 40 mellem Frederikshavn og Skagen over Elling Å.

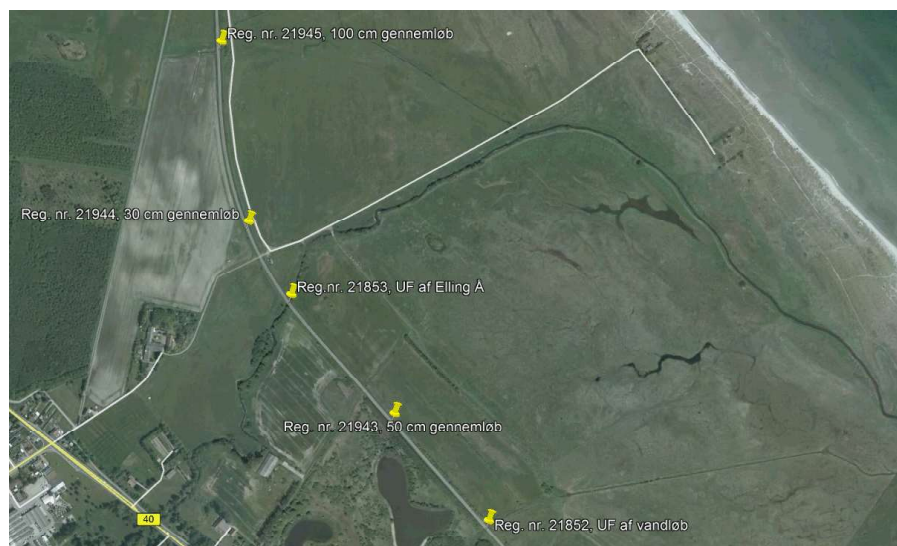
Figur 5.1: Placering af Skagensvejsbroen



For at reducere modstanden ved Skagensvejsbroen skal vandsluget i broen udvides enten i form af en udvidelse af broen eller etablering af ekstra underføring, som evt. først tages i brug, når vandstanden stiger over en given kote.

Jernbanebroen er placeret, som angivet på i Figur 5.2, og fører Skagensbanen over Elling Å. I umiddelbar nærhed er yderligere en bro samt tre rørgennemføringer beliggende.

Figur 5.2: Placering af jernbanebroen samt rørgennemføringer



Der er nedenfor listet og beskrevet 4 forskellige løsningsforslag omkring Skagensvej og jernbanen til at øge vandføringen og sænke vandstanden:

1. Parallel underføring under Skagensvej
2. Hævning af brodæk med fastholdelse af vejkode for Skagensvej
3. Yderligere hævning af brodæk, hvor vejkode af Skagensvej hæves
4. Ekstra underføring(er) under jernbanedæmningen for at reducere opstuvningen bag jernbanen samt sikre jernbanedæmningen ved at reducere vandspejlsgradienten og derved vandstrømningen gennem dæmningen.

Indledningsvist beskrives de to broer.

5.1 Skagensvejsbroen

5.1.1 Grundlag

Der er indhentet oplysninger om bygværket i Vejdirektoratets database DANBRO. Følgende materiale er tilgængeligt:

- Konstruktionstegninger fra opførelsen
- Statiske beregninger
- Geoteknisk rapport
- Generaleftersynsrapport fra 2016

Materialet er gennemgået og uddrag heraf er gengivet i afsnit 5.1.2.

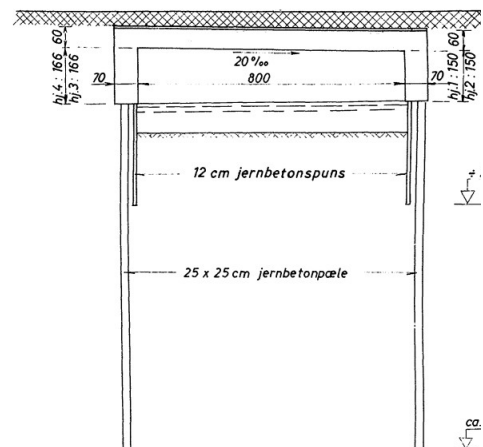
5.1.2 Eksisterende bygværk

Det eksisterende bygværk er opført i 1977, som erstatning for en smallere bro, der blev opført i 1928. Bygværket er ejet af Vejdirektoratet.

Bygværket er opført som en rammekonstruktion med OT-strengbeton bjælker i brodækket og insitu-støbt beton. Den er funderet på ca. 10 m lange betonpæle. Overbygningen har en længde på 9,4 m og en bredde på 16,80 m. Lysvidden for underført å er 8 m. Overført vejskæring med åen er 90 grader. Se Figur 5.3-Figur 5.5.

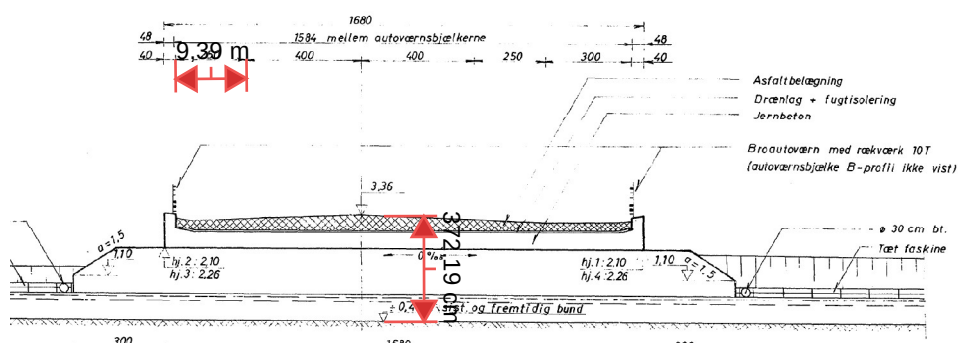
Der er iht. den geotekniske rapport ikke blødbundsaflejring. Den valgte funderingsmetode med pæle er valgt af hensyn til udførelsen.

Figur 5.3. Foto og længesnit af eksisterende bro.



Figur 5.4. Tværsnit af eksisterende bro.

Koter på tegningerne er angivet i DNN. Ved Frederikshavn er forskellen mellem DNN og DVR90 1,5 cm, dvs. $DVR90 = DNN + 1,5$ cm.



Figur 5.5. Skagensvej over eksisterende bro.



Der er en forskel på 3-4 cm mellem koterne på tegningerne og opmålingen udført i 2015, som angivet i Tabel 5.1. Til beregningerne anvendes koterne fra opmålingen.

Tabel 5.1 Koter og dimensioner på Skagensvejsbroen

Koter på under- side af brodæk	Brotegninger, m DVR	Opmåling 2015, m DVR
Indløb – Nordvest	2,10+0,015 = 2,115	2,075
Indløb – Sydvest	2,26+0,015 = 2,275	2,243
Udløb – Nordøst	2,10+0,015 = 2,115	2,064
Udløb – Sydøst	2,26+0,015 = 2,275	2,220

Broen er klassificeret til 100/100/125/125 i hhv. normal/betinget 1/betinget 2 og betinget 3 passage.

Årsdøgns trafikken er 10.1000 (2016), ref. "Trafikken i tal"/VD.

Der er i 2010 udført nyt slidlag på broen, og i 2014 er der foretaget udskiftning af broautoværn og kantbjælker.

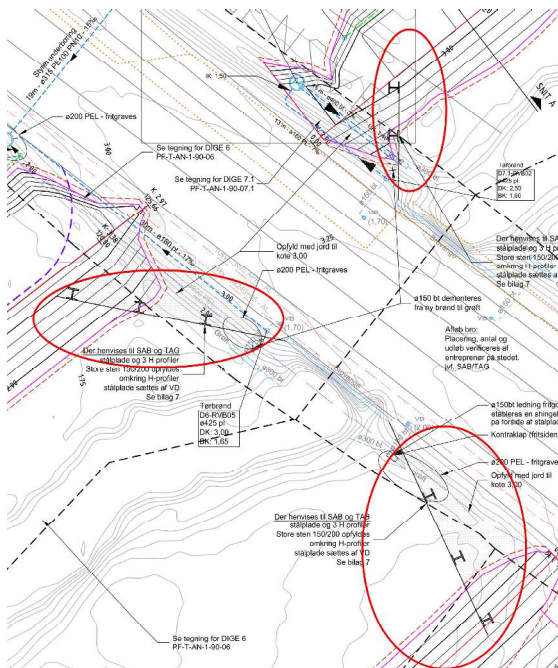
Bygværket har ved seneste generaleftersyn i 2016 opnået tilstandskarakteren 0, svarende til uskadet tilstand. Af generaleftersynsrapport fremgår, at fugtisoleringsen påregnes udskiftet i 2028.

Der er i 2016/2017 udført diger langs åen, og op mod broen er der etableres spuns, disse er angivet på Figur 5.6.

Figur 5.6 Ny etableret spuns. Udsnit af tegning PF-T-AN-1-90-06, Projektering af Å-dige, Elling, /10/.

Bemærkning: Spunsen øst for Skagensvej er ikke blevet etableret.

Koter på tegningerne er angivet i DVR90.



5.2 Jernbanebroen og dæmningen

Jernbanebroen, reg. nr. 21853, er opført i 1923. Bygværket er ejet af Nordjyske Jernbaner A/S.

Der forefindes ikke tegninger af bygværket. Af datablad fra generaleftersyn fremgår det, at broen har en bredde på 5 m, og for underført å er lyshøjden 3,4 m og lysvidden 9,0 m. Ved vandløbsopmålingen af Elling Å i 2015 blev broerne ligeledes opmålt. Her er broen opmålt til en bredde på ca. 6,5 m, lyshøjde på 2,2 m og lysvidde 10,5 m. Ved opmålingen er tykkelsen af brodækket bestemt til 1,2 m. Forskellen i bredden af broen samt lysvidden mellem de to datakilder skyldes sandsynligvis, at broen ikke er vinkelret på vandløbet, men dette bør om muligt afklares. For lyshøjden kunne det tyde på, at værdien på 3,4 m angiver lyshøjden inkl. tykkelsen af brodækket. Til modelberegningerne er anvendt dimensioner fra opmålingen.

Ud fra alder samt billeder, Figur 5.7, vurderes bygværket at være udført med uarmet beton endevederlag og brodæk bestående af ståprofiler samt overbeton. Jernbanedæmning har en højde på ca. 1,5 m ift. det omkringliggende terræn.

Figur 5.7. Jernbanebro



5.3 Løsningsforslag 1: Etablering af ny underføring

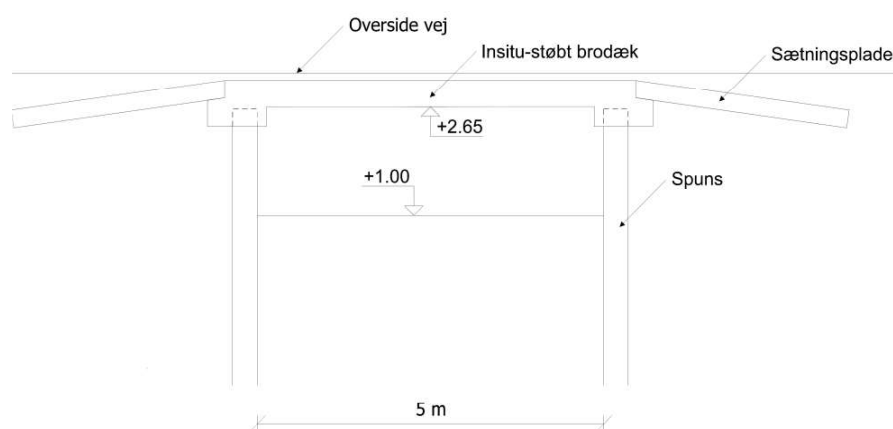
5.3.1 Beskrivelse

Umiddelbart SØ for den eksisterende bro etableres en rammekonstruktion bestående af 2 parallelle spunsvægge, der fungerer som vederlag for et insitu-støbt brodæk, som skitseret i Figur 5.8. Underføringen udføres med en lysvidde på 5 m. Omtrentlig placering er angivet på Figur 5.9.

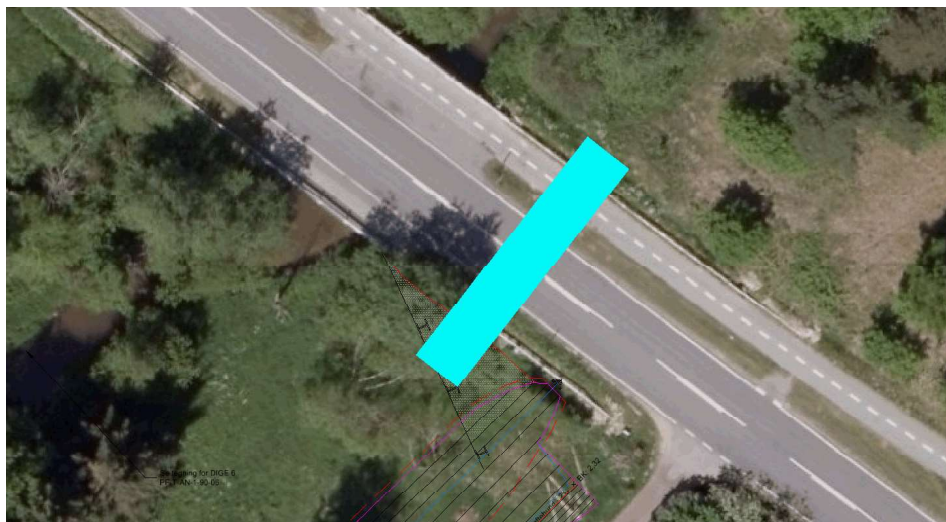
Konstruktionen vil kræve tilpasning til eller erstatning af eksisterende spuns ved sydlig ende af den eksisterende underføring under Skagensvej, se Figur 5.6.

Med en vandløbsbund for omløbet i kote 1 m øges den samlede vandslug under Skagensvej med ca. 40%. Sænkes vandløbsbunden for omløbet bliver kapaciteten end større.

Figur 5.8. Tværsnit, ny underføring. Underføringen er her vist med en vandløbsbund i kote 1 m.



Figur 5.9. Placering af ny underføring.



Der er forskellige muligheder for forbindelse mellem Elling Å og den nye underføring, som er afgørende for, hvornår den nye underføring vil være vandførende. Det anbefales, at der etableres en passiv løsning, som ikke kræver en aktiv indsats i form af åbning af sluse eller mobilisering af pumpe:

- direkte forbindelse mellem de to parallelløb, og begge underføringer er hele tiden vandførende.
- overløbskant mellem de to parallelløb, således at kun den oprindelige underføring er aktiv ved lave vandstande, mens den nye underføring først bliver aktiv, når vandstanden i Elling Å stiger over en given kote.

Der er fordele og ulemper ved de to løsninger. En direkte forbindelse mellem de to løb, vil betyde mulighed for maksimal udnyttelse af den nye underføring, men hvis begge løb er aktive vil det medføre en sænkning af minimumsvandføringen med mulige biologiske følger. Ved en overløbskant kan sikres, at der ikke løber vand i det nye parallelløb ved lave vandstande. Derimod kan en overløbskant medføre en begrænsning af vandføringen til den nye underføring.

Parallelløbet indlægges med en bundbredde på 5 m. Forskellige bundkoter af parallelløbet undersøges, f.eks. bundkoter svarende til Elling Å, dvs. kote -0,5 ved indløb, vandløbsbund i kote 0 m og i kote 1 m. Desuden undersøges både en direkte forbindelse mellem de to løb, samt overløbskanter i forskellige koter og forskellige længder.

Parallelløbet etableres med anlæg 1:1 af brinkerne. På den opstrøms side af broen er der dog begrænset plads mellem Elling Å og det sydlige dige, således at det umiddelbart ikke muligt med et anlæg 1:1. Dette kan løses ved opbygning af den venstre brink med gabioner på de 10 m nærmest broen, herved kan opnås et anlæg på 1:0,3.

5.3.2 Udførelse

Den nye underføring etableres ved ramning af spuns, herefter udføres form- og armeringsarbejder for brodæk samt efterfølgende støbning. Der afsluttes med frigravning mellem spuns/under brodæk, etablering af sætningsplader, broautoværn, fugtisolering og brobelægning.

Udstrækning af arbejdsstedet vil være begrænset < 100 m, således vurderes det muligt at afvikle trafikken ved etablering af signalregulering med vekselvis ensrettet færdsel. Vurderingen er på baggrund af overslag samt erfaring fra andre projekter med tilsvarende årsdøgnstrafik.

5.3.3 Anlægsøkonomi

Der er udført et groft overslag af anlægsomkostningerne, som angivet i Tabel 5.2.

Tabel 5.2: Anlægsoverslag, løsning 1

Anlægsomkostninger, løsningsforslag 1	Kr.
Arbejdsplads, tørholdelse, opbrydning mv.	300.000
Jordarbejder	100.000
Fundering	1.100.000
Betonarbejder inkl. form og armering	800.000
Autoværn, fugtisolering og belægningsarbejder	400.000
Udgravning og etablering af parallel vandløbsstreng med 10 m gabioner	300.000
Uforudsigelige udgifter ≈20%	600.000
Sum, ekskl. moms	3.600.000

Prisniveau er fra 3. kv. 2017.

Udgifter til trafikforanstaltninger i anlægsperioden samt evt. ekspropriation er ikke medtaget. Desuden er udgifter til etablering af en evt. overløbskant ikke medtaget, da det i udgangspunkt ikke anbefales eller vurderes nødvendigt, som beskrevet nedenfor i afsnit 5.3.4. Ligeledes indeholder anlægsoverslaget ikke omkostninger til rådgiverhonorar, tilsyn og bygherreorganisation.

5.3.4 Resultat

Der er med modellen udført følgende scenarier:

- 1) Ny parallel underføring med en lysvidden på 5 m og frit tilløb fra Elling Å, som beskrevet ovenfor. Vandløbsbund i kote -0,5 m, 0 m og 1 m.
- 2) Ny parallel underføring med en lysvidden på 5 m og en overløbskant fra Elling Å i kote 1 m og længde på 5 og 8 m.

5.3.4.1 Scenarie 1

I scenarie 1 er indført en parallelt underføring syd for Skagensvejsbroen. En direkte forbindelse mellem de to parallelløb betyder, at der selv ved minimumsvandføringen løber vand gennem den nye underføring. Dette vil medføre, at minimumsvandstanden vil sænkes, hvilke kan have negative biologiske effekter. Vandstands-målinger /2/ viser en minimumsvandstand ved Skagensvejsbroen i kote 0,50-0,60 m, hvilket betyder en minimums vanddybde i Elling Å på 1 m. Den mindste registrerede vandstand i periode 2015-2017 er i kote 0,45 m. Tilsvarende viser en tidsserie af vandstanden ved den opstrøms vandløbsstation 02.03, /3/, en minimumsvandstand i kote 0,55-0,75 m for perioden 2007-2016, svarende til en vanddybde på 0,45-0,65 m. Umiddelbart vurderes det derfor ikke at udgøre et problem med f.eks. for lav sommervandstand, men denne løsning vil kræver en biologisk undersøgelse, for nærmere at belyse dette. Sænkning af minimumsvandføringen kan dog medføre øget sandaflejring ved broerne.

Resultatet fra modelberegning af scenarie 1 med en vandløbsbund i kote -0,5 m, beregning #1 i Tabel 5.3, viser, at ca. 40% af maksimal vandføringen vil ledes under Skagensvej via parallelløbet, og den maksimale vandføring øges med op til 2 m³/s. Vandstanden umiddelbart opstrøms broen vil være omkring 13 cm lavere, mens påvirkningen ved Vestergårdsvej < 1 cm. Hæves vandløbsbunden til kote 0 m reduceres effekten, som det ses i af beregning #2 i Tabel 5.3. Lægges vandløbsbunden af parallelløbet i kote 1 m, vil den nye underføring kun være aktiv, når vandstanden overstiger kote 1 m, svarende til en overløbskant i kote 1 m. Den reducerede kapacitet i vandløbet og underføringen herved medfører dog, at kun ca. ¼ af vandføringen ledes gennem parallelløbet med en reduceret effekt af den nye underføringer til følge, Tabel 5.3 beregning #3. Scenarie 1 viser, at vandløbsbunden af parallelløbet skal ligge i kote 0 m eller derunder for at opnå den største effekt af den nye underføring.

5.3.4.2 Scenarie 2

I scenarie 2 er indlagt en overløbskant i f.eks. kote 1 m fra Elling Å, dvs. at det kun er, når vandstanden i Elling Å overstiger kote 1 m, at den nye underføring tages i brug. Ud fra tidsserier vurderes vandstanden i Elling Å at overstige kote 1 m i ca. 20% af tiden. Etableres overløbskanten i stedet i kote 0,75 m vurderes det, at vandstanden overstiger overløbskanten i ca. 50% af tiden.

Overløbskanten er i modellen udført som en passiv overløbskant. Vandføringen over overløbskanten er afhængig af overløbskantens længde og højde, samt kapaciteten i parallelløbet og underføringen, og resultaterne med forskellige dimensioner af overløbskanten og vandløbsbunden er vist i Tabel 5.3 beregning 4-8. Scenarie 2 viser, at en overløbskant skal have en længde på min. 8 m for at opnå en maksimal vandføring af samme størrelse som ved frit løb mellem de to vandløbsstrenge. I beregning #9 er anvendt et Manningtal for underføringen på 70 m^{1/3}/s svarende

til betonrør i stedet for en vandløbsbund. Herved øges kapaciteten af underføringen, og effekten af den nye underføring øges svarende til beregning #1 med frit tilløb og vandløbsbund svarende til vandløbsbunden i Elling Å.

For alle beregningerne stiger vandstanden ved jernbanebroen nedstrøms Skagensvej med mindre end 1 cm som følge af den øgede vandføring under Skagensvej. Den begrænsede påvirkning nedstrøms Skagensvej skyldes, at der er et stort oversvømmet areal, hvor den øgede vandmængde kan fordeles.

Tabel 5.3: Scenarier med parallel underføring under Skagensvej.

I beregning #1-3 er der frit tilløb mellem Elling Å og parallelløbet med forskellige koter af vandløbsbunden. I beregning #4-8 etableres en overløbskant mellem Elling Å og parallelløbet med forskellige længde og kote og forskellige koter af vandløbsbunden. I beregning #9 anvendes et højere Manningtal for underføringen svarende til en betonbund frem for en vandløbsbund.

#	Bundkote i omløb, M	Overløbskant kote, m	Overløbskant længde, m	Vandføring i parallelløb, %	Øget vandføring, m ³ /s	Sænkning af vandstand, m
1	-0,5	Frit tilløb	-	39%	2,0	0,13
2	0	Frit tilløb	-	36%	1,9	0,12
3	1	Frit tilløb	-	26%	1,4	0,09
4	-0,5	1	5	29%	1,6	0,10
5	-0,5	1	8	36%	1,8	0,12
6	-0,5	0,75	8	38%	1,9	0,12
7	0	1	5	32%	1,6	0,11
8	0	1	8	35%	1,8	0,12
9*	0	1	8	41%	2,0	0,13

* Manningtal for underføringen på 70 m^{1/3}/s

5.3.4.3 Opsummering af løsningsforslag 1

Som beskrevet overfor kan en overløbskant virke som faunaspærre. Umiddelbart anses det ikke at udgøre et problem, men det skal en biologisk undersøgelse fastslå. Det foretrækkes dog, at der ved lave vandføringer ikke løber vand igennem den nye underføringer, pga. sandaflejringer ved broen.

Ved at lægge vandløbsbunden for parallelløbet i kote 1 m (beregning 3) begrænses effekten af den ekstra underføring, hvorimod kapaciteten øges med en vandløbsbund i kote 0 m eller derunder. Det giver ikke den store forskel på effekten om overløbskanten er i koten 0,75 m eller 1 m, men den nye underføring vil ofte være vandførende ved den lave overløbskant. Længden af overløbskanten har derimod betydning for effekten, og det vurderes at kanten skal være minimum 8 m lang. Desuden har Manningtallet ved underføringen en effekt på resultatet.

Det foreslås at anvende dimensionerne fra beregning #8, evt. #9, til et parallelløb og ny underføringer under Skagensvej. I Bilag 4 er ændringen i vandstanden fra beregning #9 vist. Den største reduktion i vandstanden ses som beskrevet ovenfor umiddelbart opstrøms broen, og effekten falder opstrøms i Elling Å.

5.4 Løsningsforslag 2: Hævning af brodæk ved fastholdelse af vejkode

5.4.1 Beskrivelse

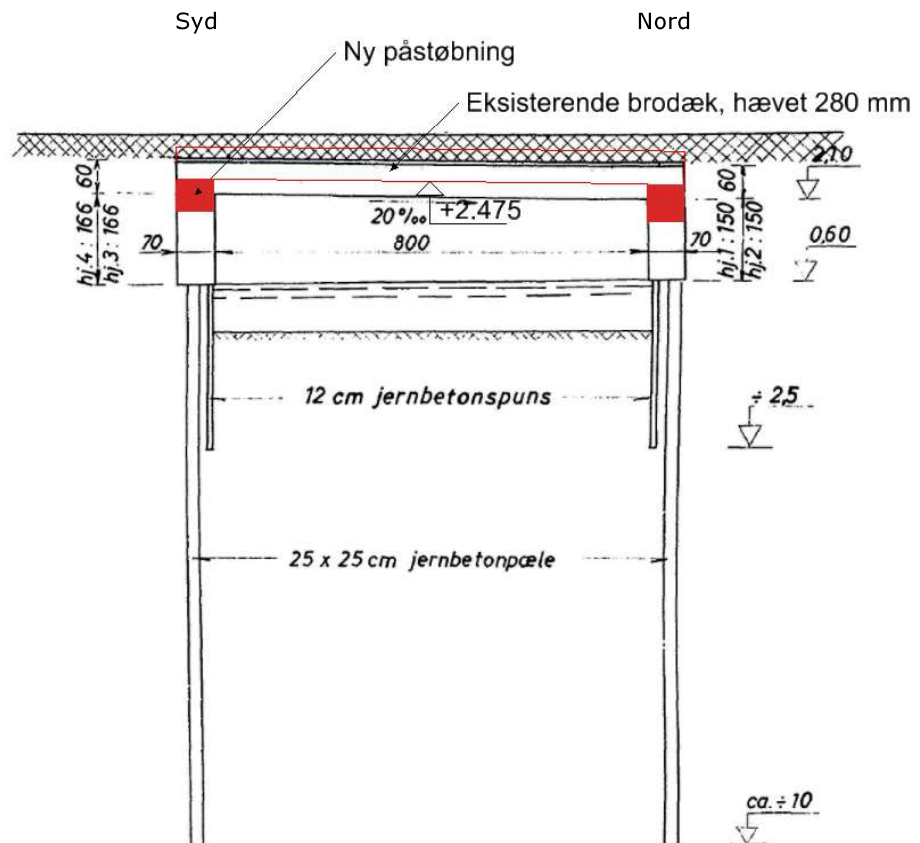
Den eksisterende bro er udført med jorddække, som medfører en relativ stor afstand mellem brodæk og overside af vej. Ved reducere af denne vil brodækket kunne hæves, endevederlagene forhøjes og frihøjden for åen øges, se Figur 5.10.

Beregnet ud fra eksisterende tegninger er der en koteaforskul mellem oversiden af brodækket og oversiden af vejen på 395 mm i dybdelinjen ved det SØ brohjørne, hvor afstanden er mindst. Ny brobelægning samt fugtisolering har en tykkelse på 115 mm, således er der mulighed for at hæve brodækket med 280 mm med en fastholdelse af vej-koten.

Ny kote af underside af brodæk vil ifølge koterne fra brotegningerne være +2,555 m DVR90 i sydlige broende, +2,395 m DVR90 i nordlige broende, og +2,475 m DVR90 midt på brodækket. Hævningen vil svare til øgning af vandslug på ca. 10%.

Figur 5.10. Tværsnit, hævnning af brodæk.

Koter på eksisterende tegninger er angivet i DNN. Ved Frederikshavn er forskellen mellem DNN og DVR90 1,5 cm, dvs. $DVR90 = DNN + 1,5$ cm. Mens den nye kote på undersiden af brodækket er omregnet til DVR90.



Løsningen vil dog reducere broens bæreevne. Dette er grundet, at broens vægge gøres højere, således at jordtrykket øges, og ved reduceret belægningstykkelser vil der være mindre trykspredning fra trafiklasten. Af de eksisterende beregninger fremgår det, at der er regnet med trykspredning fra trafiklast.

Der er udført en overslagsberegning ved øget væghøjde samt reduceret belægningstykkelser. Broens eksisterende bæreevne kan dog ikke beregnes, da der ikke foreligger armeringstegninger af strengbetonbjælkerne i brodækket. For at sikre broens bæreevne, vurderes det, at rammehjørner skal forstærkes. Dette kan gøres ved en betonpåstøbning på bagsiden af væggen evt. kombineret med brug af kul-fiber lameller på overside af dækket.

Teknisk er løsningen dog ikke god, det skyldes de usikkerheder som er forbundet med at ændre i en eksisterende konstruktion. Her tænkes på forhold som anden geometri end angivet på tegninger, dårlig betonkvalitet eller andre forhold, som vanskeliggøre brohævning, forstærkning og omisolering. Tillige er det forventeligt, at op mod halvdelen af broens levetid er opbrugt.

Som følge heraf der i anlægsøkonomien blive afsat 30% til uforudselige udgifter. For øvrige løsningsforslag er dette bidrag 20%.

For at eliminere nogle af ovenstående usikkerheder er der i 5.4.2 medtaget yderligere et løsningsforslag, benævnt 2 Alt., som er en kombination af løsningsforslag 2 og 3 med udskiftning af brodækket til nyt, mens vejboten bevares.

5.4.1.1 Udførelse

Udførelsen foretages etapevis, ½ bro af gangen, således at trafikken på Skagensvej kan opretholdes.

Før hævnning af brodæk fjernes eksisterende belægning og fugtisolering på broen. Hævningen vil kunne udføres ved, at der etableres konsoller på indersiden af endevederlagene, hvorpå der placeres donkrafte, som kan løfte brodækket til ny position. Herefter laves der en udstøbning mellem overside af endevederlagene og underside af brodæk, behugning af eksisterende endevederlag kan være påkrævet for at sikre sammenhæng. Der afsluttes med etablering af ny fugtisolering samt belægning.

Udstrækning af arbejdsstedet vil være begrænset < 100 m, således vurderes det muligt at afvikle trafikken ved etablering af signalregulering med vekselvis ensrettet færdsel. Vurderingen er på baggrund af overslag samt erfaring fra andre projekter med tilsvarende årsdøgntrafik.

5.4.2 Anlægsøkonomi

Der er udført et groft overslag af anlægsmkostningerne, som angivet i Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Anlægsoverslag, løsning 2

Anlægsmkostninger, løsningsforslag 2	Kr.
Arbejdsplads, tørholdelse, opbrydning mv.	300.000
Jordarbejder	50.000
Betonarbejder, inkl. hævnning og forstærkning af brodæk	900.000
Fugtisolering og belægningsarbejder	400.000
Uforudsigelige udgifter ≈ 30%	500.000
Sum, ekskl. moms	2.150.000

Prisniveau er fra 3. kv. 2017.

Tabel 5.5 Anlægsoverslag, løsning 2 Alt.

Anlægsmkostninger, løsningsforslag 2 Alt.	Kr.
Arbejdsplads, tørholdelse, opbrydning mv.	600.000
Jordarbejder	50.000
Betonarbejder, nyt brodæk	900.000
Fugtisolering og belægningsarbejder	400.000
Uforudsigelige udgifter ≈ 20%	400.000
Sum, ekskl. moms	2.350.000

Prisniveau er fra 3. kv. 2017.

Udgifter til trafikforanstaltninger i anlægsperioden er ikke medtaget. Ligeledes indeholder anlægsoverslagene ikke omkostninger til rådgiverhonorar, tilsyn og bygherreorganisation.

5.4.3 Resultat

I modellen er anvendt koterne fra opmålingen, og herudfra er foretaget en hævnning af brodækket. Lyshøjden øges herved med 28 cm. I Tabel 5.6 er angivet koterne for undersiden af brodækket før og efter hævnningen, som anvendt i modellen.

Tabel 5.6 Koter på Skagensvejsbroen i modellen.

Koter på underside af brodæk	Nuværende, m DVR	Hævning af brodæk med 28 cm, m DVR
Nord	2,07	2,35
Midt	2,15	2,43
Syd	2,23	2,51

Resultatet fra beregningen viser, at vandstanden umiddelbart opstrøms broen vil være omkring ca. 13 cm lavere ved en udvidelse af lyshøjden med 28 cm. Ved Vestergårdsvej er effekten ca. 1 cm. Den maksimale vandføring ved Skagensvejsbroen øges med ca. 1,8 m³/s.

Umiddelbart nedstrøms Skagensvejsbroen stiger vandstanden med 2 cm som følge af den øgede vandføring gennem sluget. Ved jernbanebroen stiger vandstanden med mindre end 1 cm. Den begrænsede påvirkning nedstrøms Skagensvej skyldes, at der er et stort oversvømmet areal, hvor den øgede vandmængde kan fordeles.

I Bilag 5 er ændringen i vandstanden ved løsningsforslag 2 vist. Den største reduktion i vandstanden ses som beskrevet ovenfor umiddelbart opstrøms broen, og effekten falder opstrøms i Elling Å.

5.5 Løsningsforslag 3: Udskiftning af brodæk samt hævnning af overført vej

5.5.1 Beskrivelse

Løsningsforslaget udføres som forslag 2, dog med den ændring at brodækket udskiftet, således at konstruktionshøjden kan reduceres og vejen hæves, så frihøjden til åen kan øges med 600 mm, se Figur 5.11.

For at opnå den øgede frihøjde reduceres vejopbygningen, som beskrevet under løsningsforslag 2, svarende til 280 mm, tykkelse af brodækket reduceres med 100 mm ved etablering af ny brodæk, og vejen hæves 220 mm, sum 600 mm.

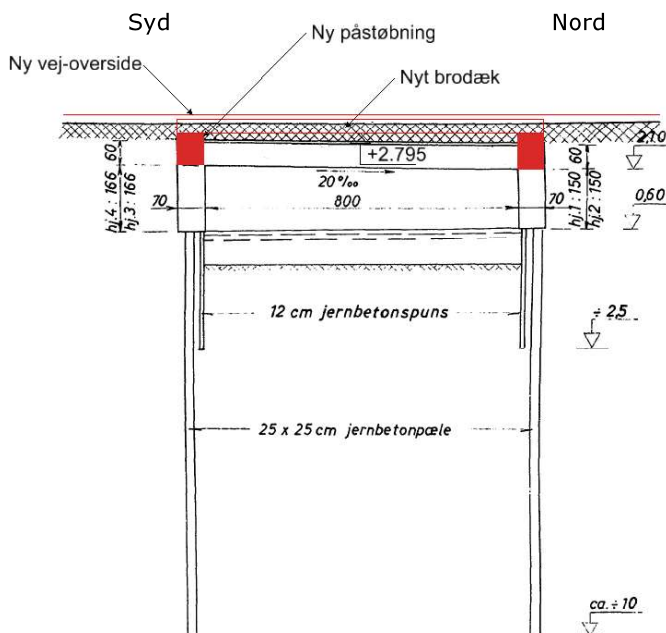
For at hæve vejboten med 220 mm skal vejens længdeprofil reguleres over en strækning på omtrentlig 200 m.

Ny kote af underside af brodæk vil ifølge tegningerne være i kote +2,875 m DVR90 i sydlige broende, kote +2,715 m DVR90 i nordlige broende og kote +2,795 m DVR90 midt på brodækket. Hævningen vil svare til øgning af vandslug på ca. 22%.

Broens bæreevne kan bevares ved udskiftning af brodækket.

Figur 5.11. Tværsnit, nyt brodæk og hævnning af vejko-
te.

Koter på eksisterende tegn-
inger er angivet i DNN. Ved
Frederikshavn er forskellen
mellem DNN og DVR90 1,5
cm, dvs. $DVR90 = DNN + 1,5$
cm. Mens den nye kote på
undersiden af brodækket er
omregnet til DVR90.



5.5.2 Udførelse

Udførelsen foretages etapevis, ½ bro af gangen, således at trafikken på Skagens-
vej kan opretholdes.

Eksisterende belægning og fugtisolering på broen fjernes og brodækket nedrives.
Eksisterende endevederlag forhøjes ved påstøbning. Støbestillads etableres, ek-
sempelvis understøttet på konsoller på indersiden af vederlagene. Nyt brodæk
støbes, og der afsluttes med etablering af ny fugtisolering samt belægning. Side-
løbende fortages der regulering af vejens længdeprofil.

Udstrækning af arbejdsstedet vil være større 200 m, således vurderes det ikke
muligt at afvikle trafikken ved etablering af signalregulering med vekselvis ensret-
tet færdsel. Afvikling af trafikken kan i stedet udføres ved at indsnævre vognba-
nerne til 3 m og hastighedsnedsætte til 50 km/t. Cyklister vil dog skulle anvende
vognbaner. Løsningen kræver forstærkning af eksisterende cykelsti, således at
trafikken kan omlægges.

5.5.3 Anlægsøkonomi

Der er udført et groft overslag af anlægsomkostningerne, som angivet i Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Anlægsoverslag,
løsning 3

Anlægsomkostninger, løsningsforslag 3	Kr.
Arbejdsplads, tørholdelse, opbrydning og ned- brydning mv.	600.000
Jordarbejder	50.000
Betonarbejder, nyt brodæk	900.000
Fugtisolering, belægningsarbejder, regulering af længdeprofil samt forstærkning af cykelsti	1.800.000
Uforudsigelige udgifter ≈20%	650.000
Sum, ekskl. moms	4.000.000

Prisniveau er fra 3. kv. 2017.

Udgifter til trafikforanstaltninger i anlægsperioden er ikke medtaget. Ligeledes indeholder anlægsoverslaget ikke omkostninger til rådgiverhonorar, tilsyn og bygherreorganisation.

5.5.4 Resultat

Til modelberegningen anvendes ligeledes koterne fra opmålingen listet i Tabel 5.6. Der er foretaget en række beregninger med forskellig hævnings af undersiden af brodækket med i alt 38 cm, 55 cm og 60 cm.

Beregning med en yderligere øgning af lyshøjden med 10 cm i forhold til løsningsforslag 2 (i alt 38 cm) giver, at den maksimale vandstand umiddelbart opstrøms broen vil være yderligere ca. 1 cm lavere, og ligeledes øges maksimal vandføringen med yderligere ca. 0,2 m³/s, Tabel 5.8.

Der er desuden foretaget en beregning, hvor underkanten af brodækket hæves yderligere 17 cm i forhold til ovenstående, dvs. en hævnings på i alt 55 cm, således at der skabes fri løb under brodækket ved den maksimale vandstand i referencescenariet. Beregningen viser, at den maksimale vandstand umiddelbart opstrøms broen vil reduceres med yderligere ca. 1 cm, og maksimal vandføringen øges med yderligere ca. 0,1 m³/s, Tabel 5.8.

Tabel 5.8: Scenarier med hævet brodæk ved den eksisterende underføring ved Skagensvej.

Løsningsforslag	Hævnings af brodæk, cm	Øget vandføring, m ³ /s	Sænkning af vandstand, m
2	28	1,80	0,127
3	38	2,03	0,140
3	55	2,16	0,149
3	60	2,19	0,150

Det foretrækkes, at brodækket etableres i en højde, så der er en frihøjde mellem det maksimale vandspejl fra referencescenariet og brodækket på 5 cm. Dette medfører en yderligere hævnings af underkanten til i alt 60 cm, der som beskrevet ovenfor kræver en regulering af vejkoten over en længere vejstrækning, og udskiftning af brodækket til en mindre dimension. Ved en vandføring som i referencescenariet giver det kun en begrænset effekt at hæve brodækket yderligere, Tabel 5.8. Samlet kan opnås en sænkning af vandstanden på 15 cm, og en øget vandføring på 2,2 m³/s ved at hæve brodækket over den maksimale vandstand.

Nedstrøms Skagensvej stiger vandstande med mindre end 1 cm som følge af den øgede vandføring under Skagensvej. Den begrænsede påvirkning nedstrøms Skagensvej skyldes, at der er et stort oversvømmet areal, hvor den øgede vandmængde kan fordeles.

I Bilag 6 er vist ændringen i vandstanden ved løsningsforslag 3 med en hævnings af brodækket med 60 cm. Den største reduktion i vandstanden ses som beskrevet ovenfor umiddelbart opstrøms broen, og effekten falder opstrøms i Elling Å.

5.6 Løsningsforslag 4: Etablering af 3 nye underføringer i jernbanedæmningen

5.6.1 Beskrivelse

Jernbanen virker som beskrevet som en dæmning gennem området med enkelte underføringer, hvoraf nogle er af lille dimension. For at øge vandtransporten fra

vest- til østsiden af jernbanen etableres 3 nye underføringer med en diameter på 1000 mm. Underføringerne vil have en længde på ca. 26 m og top af rør vil være beliggende ca. 2 m under top af banedæmning.

Placering af underføringer kan ske på begge sider af åen i umiddelbar nærhed af eksisterende jernbanebro. Adgangsforholdene er nogenlunde de samme på begge sider af åen, men matriklen nordvest for jernbanebroen er beskyttet eng. Figur 5.12 viser en mulig placering af nye underføringer, hvor den ene placeres syd for jernbanebroen, den anden er en udvidelse af den allerede eksisterende underføring, der forbinder nogle mindre drækanaler ca. 130 m nord for jernbanebroen og den sidste placeres yderligere ca. 130 m mod nord, og forbinder terræn på vestsiden af jernbanen med grøften langs jernbanen på østsiden. Evt. kan der etableres en grøft på vestsiden af jernbanen.

5.6.2 Udførelse

Såfremt der etableres små underføringer ($\varnothing \leq 1000$ mm) kan disse udføres som micro-tunnelering. Fordelen ved denne udførelse er, at den ikke kræver, at spor og sporkasse tages op, og den minimerer forstyrrelsen af togdrift.

Figur 5.12: Placering af underføringer i jernbanedæmningen



Metoden kræver dog, at der etableres hhv. en presse- og en modtagergrube på hver sin side af dæmningen, og det vil være nødvendigt at etablere adgangsveje på begge sider af dæmningen.

Idet grundvandsspejlet står højt i området vil det være nødvendigt at lave tætte vægge i gruberne, og tunneleringen skal udføres med lukket front.

Ved boring under banen er der et krav om, at gruben som minimum skal være, hvad der er svarende til 1/3 anlæg væk fra jernbanesvellens kant, dette forhold betyder, at underføringernes længde bliver væsentlig forøget ift. banedæmningens "fodaftryk".

5.6.3 Anlægsøkonomi

Der er udført et groft overslag af anlægsomkostningerne, som angivet i Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Anlægsoverslag, løsning 4

Anlægsomkostninger, løsningsforslag 4	Kr.
Arbejdsplads, tørholdelse, interimsveje mv.	1.300.000
Etablering af byggegruber	1.650.000
Tunnelering	1.800.000
Uforudsigelige udgifter $\approx 20\%$	300.000
Sum, ekskl. moms	5.700.000

Prisniveau er fra 3. kv. 2017.

Udgifter til midlertidige samt permanent arealerhvervelse er ikke medtaget. Ligeledes indeholder anlægsoverslaget ikke omkostninger til rådgiverhonorar, tilsyn, bygherreorganisation samt honorar til Banedanmark for godkendelse af projektet. Sidstnævnte kan være ganske bekostelig, 0,5-1 mio. kr.

5.6.4 Resultat

Der er i modellen indlagt 3 ekstra underføringer i jernbanedæmningen på strækningen, hvor oversvømmelsen blev observeret i 2014. Modelberegningerne viser, at den største ændring i vandstanden sker på arealerne vest for jernbanedæmningen, hvor vandstanden sænkes med op til 25 cm. Opstrøms Skagensvej er effekten dog begrænset til mindre end 3 cm. Vandføringen ved Skagensvej øges med $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Der er desuden kørt et ekstra scenarie med udvidelse af jernbanebroen med 5 m. Modelberegningen viser, at vandstanden ved umiddelbart opstrøms jernbanebroen vil være ca. 5 cm lavere, mens vandstanden ved Skagensvej sænkes med omkring 1 cm.

I Bilag 7 er vist ændringen i vandstanden ved løsningsforslag 4 med tre ekstra underføringer i jernbanedæmningen. Den største reduktion i vandstanden ses mellem Skagensvej og jernbanen, og effekten falder opstrøms i Elling Å. Den øgede afstrømningen gennem underføringerne giver en højere vandstand umiddelbart nedstrøms dæmningen ved de nye underføringer.

5.7 Klimafremskrivning af afstrømningen

Der er foretaget en vurdering af konsekvensen ved en tilsvarende hændelse (oktober 2014) i fremtidigt klima. Klimamodeller viser, at de fremtidige klimaforandringer vil medføre oftere Dvs. en hændelse med en tilsvarende gentagelsesperiode, men

GEUS har foretaget en vurdering af klimateffekten på ekstremvandføringen for 250 udvalgte målestationer, hvoraf station 02.03 ved Elling Kirke indgår, /4/. I Tabel 5.10 er værdierne for klimafaktorer for ekstremvandføringen ved station 02.03 gengivet for forskellige gentagelsesperioder for hele året. Til hver gentagelsesperiode er angivet en median klimafaktor, samt 95% konfidensintervaller ved anvendelse af 9 forskellige klimamodeller. Faktorerne bygger på analyse af ekstremvandføring for fremtidsperioden 2021-2050 i forhold til reference perioden 1961-1990, dvs. en fremskrivning med ca. 60 år i forhold til nutidige værdier.

Den gennemsnitlige klimafaktor for vandløbsafstrømningen ved en 50-100 års hændelse er for hele året på ca. 1,15 (1,14-1,17), men der er stor usikkerhed på disse værdier, og den øvre værdi i 95% konfidensintervallet er i gennemsnit på 1,40 (1,35-1,46), Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Klimafaktorer for ekstremværdi afstrømning ved vandsløbsstation 02.03 ved Elling Kirke. Tabellen angiver til forskellige gentagelsesperioder (T) den gennemsnitlige klimafaktor samt 95% konfidensintervaller, /4/.

		DK6
		20005
Areal_KM2		123,36
XUTM32		589081
YUTM32		6370944
T=		Hele året
5 år	Average climate factor	1,09
	Lower confidence limit	0,81
	Upper confidence limit	1,37
10 år	Average climate factor	1,10
	Lower confidence limit	0,82
	Upper confidence limit	1,39
20 år	Average climate factor	1,12
	Lower confidence limit	0,86
	Upper confidence limit	1,38
50 år	Average climate factor	1,14
	Lower confidence limit	0,93
	Upper confidence limit	1,35
100 år	Average climate factor	1,17
	Lower confidence limit	0,87
	Upper confidence limit	1,46
200 år	Average climate factor	1,20
	Lower confidence limit	0,79
	Upper confidence limit	1,61
500 år	Average climate factor	1,25
	Lower confidence limit	0,64
	Upper confidence limit	1,86
1000 år	Average climate factor	1,30
	Lower confidence limit	0,49
	Upper confidence limit	2,11

Spildevandskomitéen har foretaget en vurdering af en fremtidig afstrømning fra bymæssige områder under ekstremregn, /8/. Det anbefales her, at der anvendes en klimafaktor til dimensionering og analyse af afløbssystemer for en fremskrivningshorisont på 100 år 1,4 for en 100 års-hændelse.

Der er beregnet to scenarier med hhv. median (1,15) og høj klimafaktor (1,4) for afstrømningen. Til afstrømning fra bymæssige områder er anvendt en klimafaktor på 1,4 for begge scenarier. Den maksimale vandstand for de to scenarier er vist i Bilag 8 og Bilag 9. Klimascenarierne beskriver en fremtidig hændelse, svarende til hændelsen i oktober 2014, med en gentagelsesperiode på 30-100 år.

Ved en klimafremskrivning af hændelsen i oktober 2014 med en median klimafaktor, Bilag 8, stiger vandstanden opstrøms Skagensvej med ca. 15 cm, mens den mellem Skagensvej og jernbanen stiger med 8 cm. Vandet holder sig ingen for digerne, men der er flere steder, hvor der kun er 10 cm fra vandspejlet op til toppen af digekernen, hvilket medfører en betydelig risiko for digebrud.

Ved en klimafremskrivning med anvendelse af en høj klimafaktor, Bilag 9, stiger vandstanden opstrøms Skagensvej med 30 cm, mens den mellem Skagensvej og jernbanen stiger med 17 cm. Herved overstiger vandstanden digekronen, og både Skagensvej og villakvarteret omkring Vestergårdsvej oversvømmes i et omfang svarende til i oktober 2014, som det ses i Bilag 9.

Af de to klimascenarier ses, at vandet stuver op bag Skagensvej, hvor vandstanden stiger ca. dobbelt så meget som nedstrøms Skagensvej. Dette viser, at Skagensvejsbroen ved en 2014-hændelse i et fremtidigt klima udgør en begrænsning

for vandgennemstrømningen, hvilket er medvirkende årsag til vandspejlsstigningen opstrøms Skagensvej.

Etablering af en ny underføring (løsningsforslag 1) eller hævnings af brodækket ved Skagensvejsbroen (løsningsforslag 3) medfører, at vandstanden umiddelbart opstrøms Skagensvej falder med 14-19 cm for scenariet med en høj klimafaktor, hvilket er tilstrækkeligt til, at vandet her kan holdes inden for diget, således at Skagensvej ikke oversvømmes. Ved en mindre hævnings af brodækket (løsningsforslag 2) sænkes vandstanden umiddelbart opstrøms Skagensvej med 7 cm, hvilket ikke er tilstrækkeligt til at holde vandstanden under topkoten af digekernen, resulterende i oversvømmelse af Skagensvej.

Vandstanden ved Vestergårdsvej sænkes mindre end 1 cm ved tiltagene ved Skagensvejsbroen, og digerne her vil fortsat blive oversvømmet. For at sænke vandstanden og sikre området ved Vestergårdsvej er det nødvendigt at øge kapaciteten af vandløbet mellem Mosegrøften og Skagensvej forudsat en udvidelse af Skagensvejsbroen. Dette kan eksempelvis opnås ved etablering af dobbeltprofiler for den 1200 m vandløbsstrækningen mellem Mosegrøften og Skagensvej, eller bypass på udvalgte steder hvor vandløbet meandrere. Som alternativ til at øge transportkapaciteten i Elling Å vil en hævnings af digekoten kunne kompensere for udviklingen i klimaet med øget afstrømning.

5.8 Sammenligning af løsningsforslag

Løsningsforslagene beskrevet i afsnit 5.3-5.7 er sammenholdt i forhold til forslagenes egnethed til sænkning af vandspejl og øge afstrømningen i et nutidigt og fremtidigt klima, broløsningen samt prisoverslag, Tabel 5.11.

Tabel 5.11. Sammenligning af løsningsforslag

	Løsningsforslag			
	1: Etablering af parallel ny underføring	2: Hævnings af brodæk ved bevarelse af vejkode. Lyshøjden øges med 28 cm.	3: Hævnings af brodæk og vejkode. Lyshøjden øges med 60 cm.	4: Etablering af baneunderføringer
Sænkning af maksimal vandstand ved Skagensvej, cm	12-13	13	15	3
Øget kapacitet med maksimal vandføring, m ³ /s	1,8-2,0	1,8	2,2	0,3
Sænkning af vandstand ved jernbanebroen, cm	0	0	0	25
Fremtidssikring af tiltag	++	-	++	+
Broløsning	++	-	+	-
Anlægsoverslag, broløsning mio. kr.	3,6	2,15 (2,35)	4,0	5,7

Løsningsforslagene ved Skagensvej (1-3) giver sammenlignelig effekt på sænkning af vandstanden med 12-15 cm samt en øget afstrømning på 1,8-2,2 m³/s for 2014-hændelsen i nuværende klima. Tiltag ved Skagensvejsbroen har begrænset påvirkning på vandstanden og vandføringen ved jernbanebroen.

Anlægsomkostninger for løsningsforslag 2 ved bevarelse af det eksisterende brodæk er væsentlig lavere end for løsningsforslag 1 og 3.

Dog skal følgende tages i betragtning i forhold til løsningsforslag 2:

- Halvdelen af broens levetid er ved at være opbrugt.
- Etablering af ny bro omkring år 2077 eller gennemgribende renovering vil være påkrævet.
- Stigende vedligeholdelsesudgifter.
- Usikkerhed omkring økonomi vedrørende forstærkning af broen.

Ved et nyt brodæk i løsningsforslag 3 er der følgende forhold:

- Levetid på 50-120 år.
- En fremtidig renovering af underbygning vil være påkrævet.
- Vedligeholdelsesfri de første 40-50 år.

Og for en ny parallel bro i løsningsforslag 1 skal følgende forhold medtages i vurderingen:

- Levetid på 120 år for den nye bro.
- Vedligeholdelsesfri de første 40-50 år efter etablering af den nye bro.
- Halvdelen af levetiden for den eksisterende bro er ved at være opbrugt.
- Etablering af ny bro som erstatning for den eksisterende bro omkring år 2077 eller gennemgribende renovering af den eksisterende bro vil være påkrævet.
- Stigende vedligeholdelsesudgifter for den eksisterende bro.

Løsningsforslag 1 og 3 medfører en betydelig øgning af vandsluget ved Skagensvejsbroen på mere end 20%, mens løsningsforslag 2 øger vandsluget med ca. 10%. Dette medfører, at løsningsforslag 2 ikke er tilstrækkelig til at øge vandgenemstrømningen ved Skagensvej for 2014-hændelsen under antagelse af en våd klimamodel i et fremtidigt klima, som beskrevet i afsnit 5.7. For de tre løsningsforslag med udvidelse af Skagensvej er det ved ekstremhændelser i et fremtidigt klima desuden nødvendigt med et tiltag opstrøms Skagensvej enten ved at øge transportkapaciteten i Elling Å eller forhøje digerne.

De ekstra underføringer ved jernbanedæmningen har betydning for gradienten af vandspejlet gennem dæmningen, men opstrøms ved Skagensvej er effekten reduceret til få cm.

Herudfra anbefales derfor en udførelse af enten løsningsforslag 1 eller 3, idet der herved opnås den største effekt til sikring mod oversvømmelser ved fremtidige øgede afstrømninger som følge af klimaforandringer.

6 Forhøjet havvandstand

Til vurdering af en situation med forhøjet havvandstand, f.eks. ved stormflod eller i et fremtidigt klima, er udført to beregninger med øget havvandstand i hhv. kote 1 m og 1,5 m.

Det skal dog bemærkes, at en analyse af vandstand i Kattegat og afstrømning i Elling Å, /9/, viser at der for en ca. 30 årige periode ikke har været sammenfald mellem de højeste havvandsstande og ekstreme regnhændelse. Risiko for sammenfald mellem høj havvandsstand og en ekstrem regnhændelse kan dog ikke udelukkes, idet de højeste havvandsstande i Frederikshavn Havn op til kote 1,5 m er registreret i vinterhalvåret (Oktober – februar), /11/, og de 6 største afstrømningshændelser er registreret i månederne september, oktober og marts, Figur 2.1.

Beregningerne med høj havvandsstand i hhv. kote 1 m og 1,5 m er udført for løsningsforslag 1, Bilag 10 og Bilag 11, med hændelsen fra oktober 2014. Ved en havvandstand i kote 1 m ses en påvirkning i vandstanden fra jernbanedæmningen og nedstrøms. Øges havvandstanden til kote 1,5 m sker der en påvirkning af vandstanden mellem Skagensvej og jernbanedæmningen på 2-10 cm og opstrøms Skagensvej på mindre end 2 cm.

Et sammenfald mellem ekstrem regnhændelse og øget havvandstand op til kote 1,5 m udgør derfor ikke en yderligere trussel for Elling, men medfører en betydelig stigning i vandstanden på standengen mellem Elling og kysten.

Idet vandstanden opstrøms Skagensvej ikke påvirkes nævneværdigt af havvandsstigninger opnås samme resultatet for de øvrige løsningsforslag.

7 Opsummering

Der er i 2015 regnet på en ekstremhændelse svarende til den faktiske hændelse i oktober 2014 med en fremtidig hav- og grundvandsstigning på +0,5 m. Beregninger viser, at vandet stuver op på strandengarealerne nedstrøms Elling by. De store vandføringer medfører høje vandstande i hele oplandet, og især ved Elling medfører det problemer med oversvømmelser. Den tidligere undersøgelse viste, at det ikke er muligt at finde tilstrækkeligt kapacitet til magasinering af vandet i oplandet, og de foreslåede løsningsmuligheder mod risiko for oversvømmelser var opførelse af diger ind til kritiske områder samt øge kapaciteten i vandløb og ved brunderføringer.

Ved byen er der foretaget en række tiltag for at reducere risikoen for oversvømmelser ved lignende eller større hændelser. I 2016 blev der etableret diger mellem Elling Å og byen, og vandløbsbunden mellem Skagensvej og jernbanebroen blev udgravet. I denne rapport er yderligere tiltag ved Skagensvejsbroen og jernbanedæmningen beskrevet. Efter etablering af digerne har flere mindre hændelser bevist, at digerne har den ønskede effekt med at sikre Elling imod oversvømmelse.

Der er foretaget beregninger af forskellige løsningstiltag for udvidelse af vandsluget ved Skagensvej og jernbanen. Effekten af tiltagene ved Skagensvej giver sammenlignelige resultater, hvor det ved udvidelse af Skagensvejsbroen, enten ved hævning af brodækket eller etablering af parallel underføring, er det mulig at sænke vandstanden umiddelbart opstrøms Skagensvej med 12-15 cm ved 2014-hændelsen. Effekten af tiltagene aftager dog opstrøms til op til 1-2 cm ved Vestergårdvej. Udvidelsen medfører ligeledes, at der kan ledes op til 2 m³/s mere gennem underføringen. Tiltag omkring Skagensvejsbroen har derfor en effekt på både vandstanden lokalt ved broen samt transporten af vand væk fra de kritiske områder ved byen. Tiltagene ved Skagensvejsbroen har begrænset påvirkning af vandstanden og afstrømningen ved jernbanebroen.

Det har en mindre effekt på områderne opstrøms Skagensvej ved tiltag omkring jernbanedæmningen. Ekstra underføringer vil dog medføre, at vandstanden på arealerne umiddelbart opstrøms jernbanen reduceres, og forskellen i vandtryk gennem jernbanedæmningen reduceres ligeledes betydeligt.

Der er foretaget analyser af gentagelsesperioden for afstrømnings- og regnhændelsen i oktober 2014, men resultaterne fra analyserne bliver meget usikre, når gentagelsesperioderne ekstrapoleres ved ekstreme hændelser. Ud fra analyserne og historiske beretninger om høje vandstande og oversvømmelser ved Elling vurderes hændelsen i oktober 2014 at være en 30-100 års hændelse, dvs. at der hvert år er en sandsynlighed på 1-3% for en lignende eller større hændelse. Det er dokumenteret, at ekstreme hændelser bliver voldsommere med de fremtidige klimaforandringer. Derfor er to klimascenarier beskrevet, hvor der er anvendt klimafaktorer svarende til hhv. en middel klimamodel og en våd klimamodel. En lignende hændelse i et fremtidig klima kan medføre en stigning i vandstanden, hvilket øger risikoen for digebrud og overstrømning af digerne.

Tiltag omkring Skagensvejsbroen kan som beskrevet sænke vandstanden lokalt ved Skagensvej, men lige så vigtigt er, at kapaciteten ved broen øges. Ved en øget afstrømning i et fremtidigt klima kan risikoen for oversvømmelse nedbringes ved tiltag ved Skagensvejsbroen, så som løsningsforslag 1 eller 3, kombineres med yderligere tiltag ved enten at øge vandløbskapaciteten opstrøms Skagensvej, f.eks. ved etablering af dobbeltprofiler, bypass eller ved at hæve digekoten.

8 Konklusion

Observationer og analyse af ekstrem afstrømning, nedbør og høj vandstand i Elling Å har vist, at:

- Ved høje vandstande i Elling Å har digerne vist at have sin berettigelse med den ønskede effekt at sikre Elling imod oversvømmelse.
- Digerne er dimensionerede til at kunne håndtere en vandstand svarende til hændelsen i 2014, som er vurderet til at have en gentagelsesperiode på 30-100 år i det nuværende klima, dvs. at der hvert år er en sandsynlighed på 1-3% for en lignende eller større hændelse.
- I et fremtidigt klima forventes det, at frekvensen af ekstremhændelser stiger og afstrømningen øges. Fremtiden kan derfor oftere byde på alvorligere hændelser, som vil udgøre en risiko for oversvømmelse.

I nærværende rapport er tiltag ved Skagensvejsbroen og jernbanebroen beskrevet og effekten af disse analyseret:

- Tre forskellige tiltag med udvidelse af Skagensvejsbroen medfører en øget vandgennemstrømningen og reduceret opstuvning opstrøms broen.
- Risikoen for oversvømmelse af Elling og Skagensvej ved fremtidige ekstremhændelser reduceres ved at øge vandgennemstrømningen ved Skagensvejsbroen ved enten en samtidig øget gennemstrømningen i Elling Å eller forhøjning af digerne.
- Tiltag med udvidelse af Skagensvejsbroen medfører ingen konsekvens for jernbanebroen.
- Tiltag ved jernbanebroen og -dæmningen har begrænset effekt på vandstanden opstrøms Skagensvej.

9 anbefalinger

På baggrund af ovenstående undersøgelse anbefales det:

- En udvidelse af Skagensvejsbroen for at øge vandgennemstrømningen under ekstremhændelser. Herved reduceres risikoen for oversvømmelse af villakvarter i Elling samt Skagensvej.
- Løsningsforslag 1, med en parallel underføring, og Løsningsforslag 3, hvor lyshøjden af den eksisterende bro øges med 60 cm, vurderes at give den største effekt ved en fremtidigt ekstremhændelse.
- Det anbefales ligeledes at øge vandgennemstrømningen af Elling Å mellem udløbet fra Mosegrøften til Skagensvej eller at hæve digekoten som supplement til udvidelse af Skagensvejsbroen.

10 Referencer

- /1/ Frederikshavn Kommune, 2015. Klimatilpasning af Elling Å systemet. Rapport udarbejdet af ALECTIA.
- /2/ Online målinger af vandstand i Elling Å. <http://frederikshavn.web4you.dk/>
- /3/ Miljøportalen. <https://arealinformation.miljoportal.dk/>
- /4/ GEUS, 2014. Klimaeffekter er ekstremværdi afstrømninger. Fase 2 Usikkerhedsvurdering. GEUS rapport 2014/38.
- /5/ Spildevandskomitéens regnmålersystem. <http://svk.dmi.dk>
- /6/ United States Department of Agriculture (USDA), 1986. Urban Hydrology for Small Watersheds. TR-55.
- /7/ Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LFU), 2003. Hydraulik naturnaher Fließgewässer. Teil 3 - Rauheits- und Widerstandsbeiwerte für Fließgewässer in Baden-Württemberg. Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 78.
- /8/ Spildevandskomitéen, 2008. Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer. Skrift nr. 29.
- /9/ Frederikshavn Kommune, 2016. Klimasikring af Bangsbo Å og kysten. Rapport udarbejdet af COWI.
- /10/ Frederikshavn Kommune, 2016. Projektering af Å-dige ved Elling. Rapport udarbejdet af ALECTIA.
- /11/ Kystdirektoratet, 2018. Højvandsstatistikker 2017.

Bilag 2



Vejdirektoratet

Broarkivet

Geoteknisk rapport

438-0005

ANDREASEN & HVIDBERG

CIVILINGENIØRER-VEJKONSULENTER

VEJ- OG FUNDERINGS-

GEOTEKNISKE UNDERSØGELSER
OG DIMENSIONERING

RÅDGIVENDE VEDRØRENDE BELÆGNINGS-
FORSTÆRKNINGS- OG VEDLIGEHOLDELSesarbejder
SAMT UDFØRER UNDERSØGELSER OG BEREKNINGER FOR
BOLIGER - INDUSTRI - BROER - HAVNE - RENSNINGSANLÆG

SVALEGAARDSVEJ 60 - 9000 AALBORG - TLF. (081) 184577
POSTGIRO 7 15 23 02

ANDREASEN & HVIDBERG - SVALEGAARDSVEJ 60 - 9000 AALBORG
Rådgivende ingeniørfirma

Aage Østergaard,
Vesteraa 14,
9000 Aalborg.

DERES REF.

DERES BREV AF

VOR REF :

7584

DATE 8 - 12 - 1975

Hovedlandevej nr. 438, Frederikshavn - Skagen, km. 5,010.

Ny bro over Elling Å.

Geoteknisk rapport med bilag A, B, E og 1 - 4.

Nordjyllands amtsråd

13 SEP 1976

Tekn. forv. J.nr
20626-438-5,0

1. Resumé.

Efter de udførte undersøgelser at dømme er der tale om meget ensartede bundforhold på den pågældende lokalitet, idet der under 3,5 til 4,0 m sand træffes 6,2 m yoldialer, i hvilket der stedvis er indskudt siltlag. Herunder træffes ved begge boringer finsand. Finsandets tykkelse er mindst 2,8 m ved boring 1, og ved boring 2 er det 4,5 m tykt, siltholdigt, og underlejret af yoldialer.

Bundforholdene er velegnede for en direkte fundering på sandet, idet det i boring 2 trufne dyndindhold i ca. 2,8 m dybde er uvæsentligt. En direkte fundering forudsætter dog en spunsning, og på grund af sand- og siltlagene i yoldialeret må spunsen føres til mindst kote +5,0. En pælekonstruktion kan derfor vise sig at være mere hensigtsmæssig, og da en pælefundering i teknisk henseende er lige-stillet med en direkte fundering, må valget mellem metoderne træffes på basis af økonomiske overvejelser.

Uanset hvilken af de 2 funderingsmetoder der vælges, skønnes sætninger og differenssætninger at blive så små at de vil være uden betydning for konstruktionen.

2. Markundersøgelser og laboratorieforsøg.

I de på situationsplanen, bilag 1, viste punkter 1 og 2 er der udført undersøgelserboringer til 13,0 og 16,8 m dybde under terræn. I forbindelse hermed er der i kohasionsjord udført vingeforsøg til bestemmelse af den udrånedede forskydningsstyrke, og i sandlag er der udført standard penetrationsforsøg (SPT) til brug ved vurdering af jordlagenes friktionsvinkel.

I laboratoriet er der for samtlige intakte prøver foretaget bestemmelse af det naturlige vandindhold og af rumvægten, og supplerende er der foretaget bestem-

melse af det naturlige vandindhold af nogle af de omrørte silt- og lerprøver. Resultaterne af de udførte forsøg, prøvernes lejringsdybde og geologiske betegnelse, de indmålte laggrænser og de indmålte vandspejl er vist på boreprofilerne, bilag 2 og 3, medens signaturer og definitioner fremgår af bilag A.

3. Bundforhold.

Der er efter de 2 boringer at dømme tale om meget ensartede bundforhold, og der er i begge boringer truffet 3,4 m sand under et muldlag der i boring 1 er 0,7 m tykt og som i boring 2 er 0,1 m tykt. En enkelt af sandprøverne i boring 2 - nr. 29 - er karakteriseret som dyndholdig.

Under det postglaciale sandlag er der ved begge boringer truffet et ca. 6 m tykt lag yoldialer, der underlejres af finsand. Yoldialeret er ved begge boringer truffet med centimetertykke lag af finsand eller silt, og der er i begge boringer endvidere tale om regulære siltlag af op til 0,6 m tykkelse. Finsandet er i boring 2 siltholdigt og afløses her nedadtil af yoldialer. I boring 1 er det under yoldialeret liggende finsand ikke gennemboret.

Jordlagenes geotekniske karakteristika er som følger:

	Vandindhold, %	Rumvægt, t/m ³	Forskydningsstyrke, t/m ²	Friktionsvinkel, °
Postglacialt finsand	-	1,80	-	29-35
Yoldialer	17-29	1,95-2,10	25-41	-
Silt	18-21	-	20	-
Finsand	-	1,80	-	36-38

Det postglaciale sand er efter SPT-forsøgene at dømme truffet med noget varierende friktionsvinkler, men vi vil skønne at der kan regnes med en korrigeret friktionsvinkel på 32°.

Det under leret liggende finsand er efter SPT-forsøgene at dømme meget fastlejet, og det skønnes rimeligt at antage en korrigeret friktionsvinkel på 38°.

Yoldialeret er truffet med særdeles kraftige sand- eller siltlag - centimetertykke mod almindeligvis blot millimetertykke - og der kan derfor ikke regnes med fuld overflademodstand ved beregning af pæles bæreevne. Leret vil på grund af sand- og siltlagene i bæreevнемæssig henseende virke som om det var sprækket, hvorfor det ved bestemmelse af bæreevnen af fundamenter og ved bestemmelse af pæles spidsmodstand må regnes med at forskydningsstyrken reduceres i forhold til de ved vingeforsøg bestemte værdier. Disse bør multipliceres med en faktor på 0,25 á 0,33.

4. Grundvandsspejl.

Dette er indmålt mellem kote 0,2 og kote 0,7 og formodes at kunne variere en

del.

5. Den eksisterende konstruktion.

Broen er formentlig bygget i 1928 eller 1 eller 2 år senere. I øvrigt vides der intet om konstruktionen, bortset fra at Geodætisk Institut på forespørgsel har oplyst at koten til et højdefastmærke i 1942 indmåltes i kote 3,12 og i 1952 indmåltes i kote 3,09. Højdefastmærket er derpå tabt gået, og et nyt er etableret i 1920 i kote 3,10. På de 10 år fra 1942 til 1952 er der således sket en sætning på 3 cm.

Åløbets bund er bestemt til kote +0,4.

6. Projekt.

Ifølge dette skal der bygges en 17 m bred bro med 8 m spændvidde og med en kørebane der er hævet ca. 0,5 m i forhold til den eksisterende.

7. Funderingsforhold.

7.0 Generelt.

Bundforholdene er velegnede for en direkte fundering af den projekterede konstruktion, og det er vor opfattelse at det i boring 2 trufne tynde, dyndholdige sandlag ikke vil medføre problemer overhovedet, da en eventuel sætning vil fremkomme momentant på grund af sandets store permeabilitet og den beskedne tykkelse af det dyndholdige sand. Åen fører dog en betydelig vandmængde, og såfremt udgravnings- og støbearbejdet skal foregå i tør byggegrube, kræves der både en spunsnings- og en lænsning i anlægsperioden. Andre funderingsmetoder såsom en pælefundering og en brøndfundering kunne derfor overvejes.

En brøndfundering kan udmærket udføres, men bæreevnen af en sådan bliver forholdsvist lille, medmindre funderingsniveau bliver væsentlig dybere end ved en direkte fundering. En brøndfundering er derfor ikke særlig hensigtsmæssig i det foreliggende tilfælde.

En pælefundering kan udmærket gennemføres, og der vil formentlig blive tale om stor bæreevne af pælene, såfremt disse føres lidt ned i det under yoldialeret liggende sandlag.

En pælefundering og en direkte fundering er i det foreliggende tilfælde ligestillede i teknisk henseende, og valget mellem dem må derfor træffes på basis af økonomiske overvejelser.

7.1 Direkte fundering.

Fundamenterne kan dimensioneres efter den på bilag B anførte bæreevneformel nr. Ia, idet der benyttes en korrigeret friktionsvinkel på 32° , d.v.s. nominel friktionsvinkel på $26,5^{\circ}$. Rumvægten kan sættes til 1,8 over grundvandsspejlet

og 1,0 under grundvandspejlet.

Der bør næppe vælges et højere funderingsniveau end kote +1,5 á +1,8, dels af hensyn til faren for erosion, dels for at opnå en rimelig fundamentsbredde, og opmærksomheden henledes på, at det formentlig vil være hensigtsmæssigt at optage de vandrette kræfter på en sådan måde, at der ved dimensioneringen af fundamenterne kan regnes med en central belastning på disse.

7.2 Pølefundering.

Yoldialeret er sprækket, hvilket medfører at man hvad spidsmodstanden af pælene angår må regne med en forskydningsstyrke der kun er ca. 1/3 af de ved vinge-forsøg bestemte værdier. Silt- og sandlagene i yoldialeret er relativt tykke, og der bør regnes med den noget ringere overflademodstand i disse lag. Såfremt pælen står med spids i yoldialeret, bestemmes bæreevnen bedst ud fra en geostatisk beregning på baggrund af de målte forskydningsstyrker, men for pæle hvis spids når ned i sandet vil en geostatisk beregning være behæftet med særdeles stor usikkerhed, og man bør da i stedet støtte sig til S_0 -rammeformlen.

På basis af de målte forskydningsstyrker og de anslåede friktionsvinkler har vi til orientering bestemt den nominelle bæreevne af en 25 x 25 cm jernbeton-pæl som funktion af koten til pælespids. Resultatet er anført på bilag 4, men det bemærkes at den endelige fastsættelse af den nominelle bæreevne må ske på basis af S_0 -formlen.

8. Sætninger.

Uanset hvilken af de 2 funderingsmetoder der vælges, skønnes der ikke at fremkomme sætninger med gener af betydning for konstruktionen. Det er dog en forudsætning at erosion undgås såfremt der vælges en direkte fundering.

9. Udgravningsforhold.

Trafikken skal opretholdes under anlægsarbejdet, og vælges der en direkte fundering skal udgravningen for fundamenterne torholdes. Dette gøres mest hensigtsmæssigt ved etablering af tæt spuns omkring den pågældende udgravning. Spunsens spids bør mindst føres ned til kote +5,0, for at der vil være tilstrækkelig sikkerhed mod løftning af udgravningens bund. Efter ramning af spunsen sænkes grundvandspejlet indenfor spunsen, enten ved anvendelse af sugespidsen eller ved pumpning fra et belastet filter således at erosion af de nederste sandlag undgås. Efter støbning bør der ledes vand ind i udgravningen for spunsen trækkes.

10. Inspektion.

Denne bør bestå i en prøveramning - af 4 á 5 pæle - på basis af hvilken der opstilles kriterier for den endelige ramning, når belastninger m. v. er nøjere fastlagt.

8/12/75

J. M. Andersen

	KRIDT ELLER KALK		SILT		SKALLER
	SKÆRVE- MACADAM		LER		DYNDHOLDIGT SAND
	STEN		LERET, STENET SAND (MORÆNESAND)		DYNDHOLDIGT SILT (KLÆG)
	GRUS		SANDET, STENET LER (MORÆNELER)		DYNDHOLDIGT LER
	SAND		LERET SILT		DYND
			MULD		

	BENKELMANMAALING		PUNKTPROFIL	} GEOELEKTRISK SONDERING
	PRØVEGRAVNING		LINIEPROFIL	
	BELASTNINGSFORSØG		BORING	
	PRØVEGRAVNING OG BELASTNINGSFORSØG		VINGEFORSØG	
	DREJESONDERING		BORING OG SONDERING	
	RAMMESONDERING		BORING MED VINGEFORSØG	
			BORING, VINGEFORSØG OG SONDERING	

VANDINDHOLD w
 FLYDEGRÆNSE l_L
 PLASTICITETSGRÆNSE p_L
 PLASTICITETSIDEKS P_I
 RUMVÆGT γ
 TØRRUMVÆGT (TØRTÆTHED) γ_d
 KORNRUMVÆGT d_s
 GLØDETAB GL
 KALKINDHOLD ka
 PORETAL e
 MÆTNINGSGRAD S_w
 VINGEFORSØG C_v & C'_v
 STANDARD PENETRATIONS-
 FØRSØG (SPT)

```

: VANDVÆGTEN I PROCENT AF TØRSTOFVÆGTEN
: VANDINDHOLD VED OVERGANG FRA FLYDENDE TIL PLASTISK TILSTAND.
:      -      -      -      -      PLASTISK TIL HALVFAST      -
: LL: PL
: FORHOLDET MELLEM TOTALVÆGT OG TOTALVOLUMEN
:      -      -      TØRSTOFVÆGT OG      -
: MIDDELVÆRDIEN AF TØRSTOFFETS RUMVÆGT
: VÆGTTABET VED GLØDNING I % AF TØRSTOFVÆGTEN
: VÆGTEN AF CaCO3 I % AF TØRSTOFVÆGTEN
: HULRUMSVOLUMEN I FORHOLD TIL KORNVOLUMEN
: VANDVOLUMEN I FORHOLD TIL HULRUMSVOLUMEN
: DEN UDRÆNEDE FORSKYDNINGSGRÆDE MAALT VED VINGEFORSØG I
: KHV. INTAKT OG OMRØRT (10x360°) JORD
: ANTAL RAMSLAG AF EN VÆGT PÅ 63,4 KG MED EN FALDHØJDE
: PÅ 76,2 CM DER KRÆVES FOR AT DRIVE ET Ø 5,08 CM STÅLRØR
: FRA 10 TIL 40 CM NED UNDER BOREHULLETS BUND

```

DREJESONDERINGSPROFIL: BOREMODSTANDEN R ANGIVER ANTAL HALVE OMDREJNINGER PR: 20 CM
NEDTRÆNGNING VED 100 KG BELASTNING.

RAMMESONDERINGSPROFIL: RAMMEMODSTANDEN R ANGIVER DET ANTAL RAMSLAG AF EN VÆGT PÅ
30 KG MED EN FALDHØJDE PÅ 20 CM. DER KRÆVES FOR AT GIVE EN KEGLE
MED 10 CM³ TVÆRSNIT EN NEDTRÆNGNING PÅ 20 CM.

DIREKTE FUNDERING

I Generel bæreevneformel

Den nominelle bæreevne for et fundament, $b_n = \frac{Q_n}{\bar{A}}$, bestemmes af:

$$b_n = 0,5 \cdot \bar{B} \cdot \bar{\gamma} \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma + \bar{q} \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + c_n \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c$$

la. Fundering på sand: $b_n = 0,5 \cdot \bar{B} \cdot \bar{\gamma} \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma + \bar{q} \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q$

lb. Fundering på ler: $b_n = c_n \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \bar{q}$

Q_n (t) Den lodrette, nominelle komponent af fundamentets bæreevne

$\bar{A}$ (m²) Den effektive, centralt påvirkede fundamentsflade med kantlængderne $\bar{L}$ (m) og $\bar{B}$ (m)

$\bar{\gamma}$ (t/m³) Den effektive rumvægt af jorden under funderingsniveau

$\bar{q}$ (t/m²) Det effektive lodrette jordtryk i funderingsniveau ved siden af fundamentet ($\bar{q} = \gamma \cdot d$, hvor d (m) er lig med den mindste, lodrette afstand fra funderingsniveau til terræn eller kældergulv)

c_n (t/m²) Den nominelle, udrænedede forskydningsstyrke af jorden under funderingsniveau ($c_n = c_u \cdot i_c$)

N_γ og N_q Dimensionsløse bæreevnefaktorer, der afhænger af jordens nominelle friktionsvinkel φ_n . N_γ og N_q findes anført på bilag D.
 $N_\gamma = 1,8 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \varphi_n$

φ_n (°) Den nominelle korrigerede friktionsvinkel, fås af $\tan \varphi_n = \tan \varphi / i_c$

N_c Dimensionsløs bæreevnefaktor = 5,14

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot \bar{B} / \bar{L}$$

$$s_q \cdot s_c = 1 + 0,2 \cdot \bar{B} / \bar{L}$$

$$d_q \sim d_c = 1 + 0,35 \cdot D / \bar{B}, \text{ hvor } D \approx \bar{B}, \text{ og hvor } D = \text{fundamentets mindste dybde i jordlag, der er mindst lige så faste som jorden under fundamentet. } d_q \sim d_c \text{ dog} = 1,0, \text{ hvis der regnes med passivt jordtryk på siden af fundamentet.}$$

$$i_\gamma \cdot i_q^2 \cdot i_c = (1 - \frac{H_n}{V_n})^2 \quad \text{For } \varphi_n = 0 : i_c = 0,5 + 0,5 \cdot \sqrt{1 - \frac{H_n}{\bar{A} \cdot c_n}}$$

H_n og V_n er henholdsvis nominel vandret og lodret komponent

Det kontrolleres, at der ikke er tale om glidning: $H_n < \bar{A} \cdot c_n + V_n \cdot \tan \varphi_n$

Specialtilfælde

II Lodret central belastning

For et lodret centralt påvirket fundament bestemmes den nominelle bæreevne ud fra formlerne la og lb med $i_\gamma = d_q = i_q = d_c = i_c = 1,0$, dvs.:

IIa Fundering på sand: $b_n = 0,5 \cdot \bar{B} \cdot \bar{\gamma} \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma + \bar{q} \cdot N_q \cdot s_q$

IIb Fundering på ler: $b_n = c_n \cdot N_c \cdot s_c + \bar{q}$

Der benyttes de samme partialkoefficienter på belastninger og jordparametre som ovenfor.

III Små konstruktioner

For små konstruktioner på god byggegrund kan fundamenter dimensioneres ved anvendelse af totalsikkerheden

F , der bør vælges $\geq 2,0$. For et lodret og centralt belastet fundament bestemmes det tilladelige

fundamentstryk af en af følgende formler:

IIIa Fundering på sand: $p_{\text{till}} = \frac{1}{F} \cdot (0,5 \cdot \bar{\gamma} \cdot \bar{B} \cdot s_\gamma + \bar{q} \cdot s_q) \cdot N_q$

IIIb Fundering på ler: $p_{\text{till}} = \frac{1}{F} \cdot c_n \cdot N_c \cdot s_c$

N_q svarer her til den korrigerede friktionsvinkel, og findes anført på bilag D.

Partialkoefficienter

Der benyttes følgende partialkoefficienter:

	Belastningstilfælde	
	Normal	Ekstraordinær
Egenvægte, vandtryk, væskebelastninger	$f_g = 1,0$	1,0
Massegoods i siloer og lignende	$f_p = 1,3$	1,3
Andre bevægelige belastninger	$f_p = 1,5$	1,5
Friktion	$f_\varphi = 1,25$	1,15
Kohæsion	$f_c = 1,75$	1,6

En enkeltpæls brudbelastning kan bestemmes ved geostatisk beregning, prøveramning (rammeformel) eller prøvbelastning.

GEOSTATISK BEREGNING

Brudbelastning	$Q = Q_p + \Sigma Q_m$	i sand og grus	i ler (korttid)
Spidsmodstand	Q_p (t)	$2 N_q \bar{q}_p A_p$	$\mu \cdot 9 \cdot c \cdot A_p$
Overflademodstand	Q_m (t)	$0,5 \bar{q}_m A_m$	$m \cdot s \cdot r \cdot c \cdot A_m$

<u>Formfaktor</u>	s :	1,0 for prismatiske pæle og koniske trækpæle 1,2 for koniske trykpæle (tynde ende nedad). 0,7 for koniske trykpæle (tynde ende opad).
<u>Materialefaktor</u>	m :	1,0 for beton og træ 0,85 for beton i glat forskalling 0,7 for stål
<u>Regenerationsfaktor</u>	r :	Afhængig af lerart og efter ramning forløben tid
<u>Korrektionsfaktor</u>	μ :	Afhængig af jordart 1,0 for vandmættet ler 2,0 for fast moræneler

RAMMEFORMEL

Pælens nominelle bæreevne kan, når pælspidsen står i grus, sand eller fast, magert moræneler, bestemmes ved en rammeformel.

"Den danske rammeformel", S_0 -formlen:

$$Q_n = \frac{1}{f_d} \cdot \frac{\eta H W_r}{S + 0,5 \cdot S_0} \quad \text{hvor: } S_0 = \sqrt{\frac{2 \eta H W_r L_p}{A E}}$$

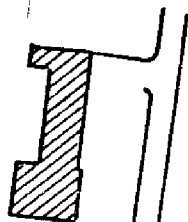
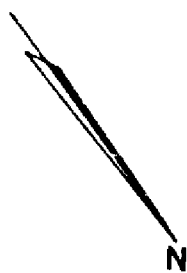
Formlen må kun benyttes, når forholdet mellem den nedrammede del af pælen og dennes middeldiameter er større end ca. 25.

Effektivitetsfaktor η :	1,0 for frit faldende ramslag 0,85 når ramslaget trækker spiltromlen med 0,9 for enkelt- og dobbeltvirkende damphamre 0,4 for dieselhamre
------------------------------	--

A	(m ²)	: Pælens middeltværsnitsareal.
A _m	(m ²)	: Pælens overfladeareal i det betragtede jordlag.
A _p	(m ²)	: Pælens spidsareal.
E	(t/m ²)	: Pælematerialets elasticitetskoeff. (jernbeton $E \sim 2 \times 10^6$ t/m ²).
W _r	(t)	: Ramslagets vægt.
H	(m)	: Ramslagets faldhøjde.
L _p	(m)	: Pælens fulde længde.
N _q		: Dimensionsløs bæreevnefaktor (funktion af friktionsvinklen).
S	(m)	: Blivende nedsynkning pr. slag (middelværdi for en serie).
c	(t/m ²)	: Udrænet forskydningsstyrke (f.eks. målt ved vingeforsøg).
$\bar{q}_m$	(t/m ²)	: Lodret effektiv spænding i det betragtede jordlag.
$\bar{q}_p$	(t/m ²)	: Lodret effektiv spænding i pælspidsniveau.

Ved pæleberegning benyttes enten en totalsikkerhed ($F \geq 2,0$) eller følgende partialkoefficienter, der svarer til normale belastningstilfælde:

Egenvægt, vandtryk, væskebelastning	f_g	=	1,0
Masse gods i siloer og lignende	f_p	=	1,3
Andre bevægelige belastninger	f_p	=	1,5
Friktionsvinkel	f_ϕ	=	1,25
Kohæsion	f_c	=	2,0
Danske rammeformel (friktionsjord)	f_d	=	2,0



Elling Aa



Fr. havn

St 5,0

Skagen



ANDREASEN & HVIDBERG

SITUATIONSPLAN Mål 1:1000

Forsøg:

Tegn.: KLK

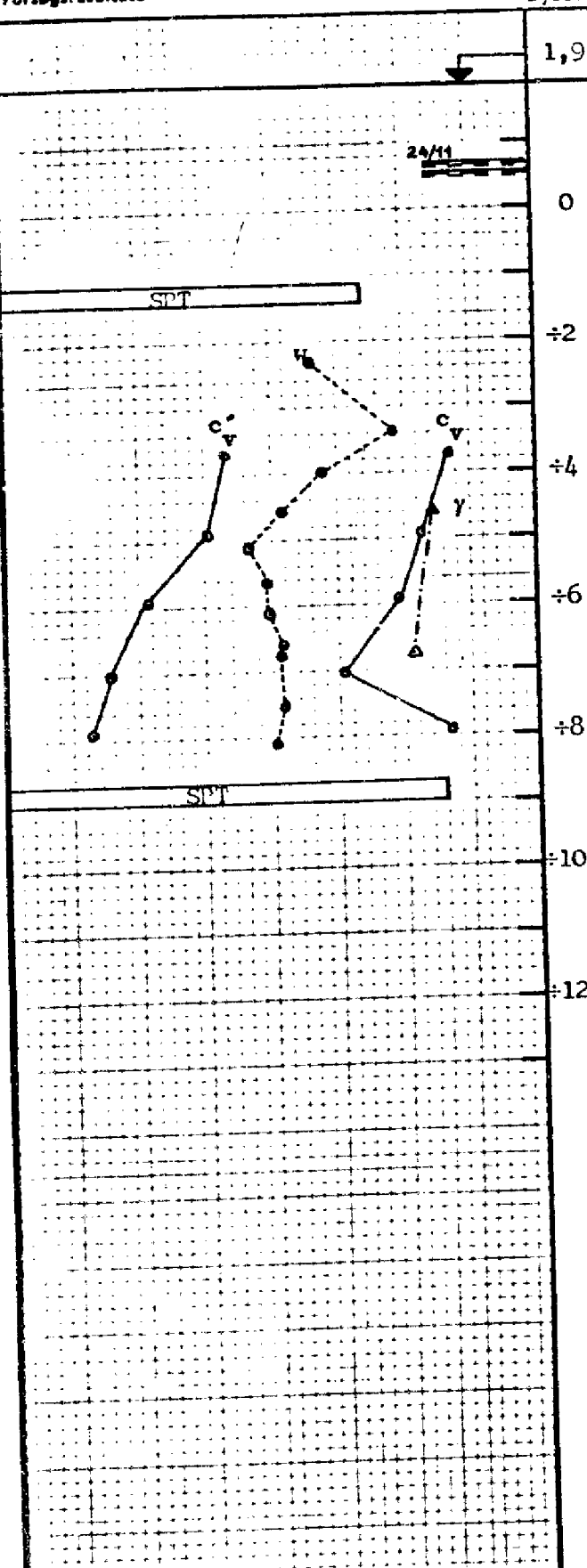
Sag :7584 Bro over Elling Aa.

Kontr.:

Godk.: *simf*

Dato: 8/12-1975

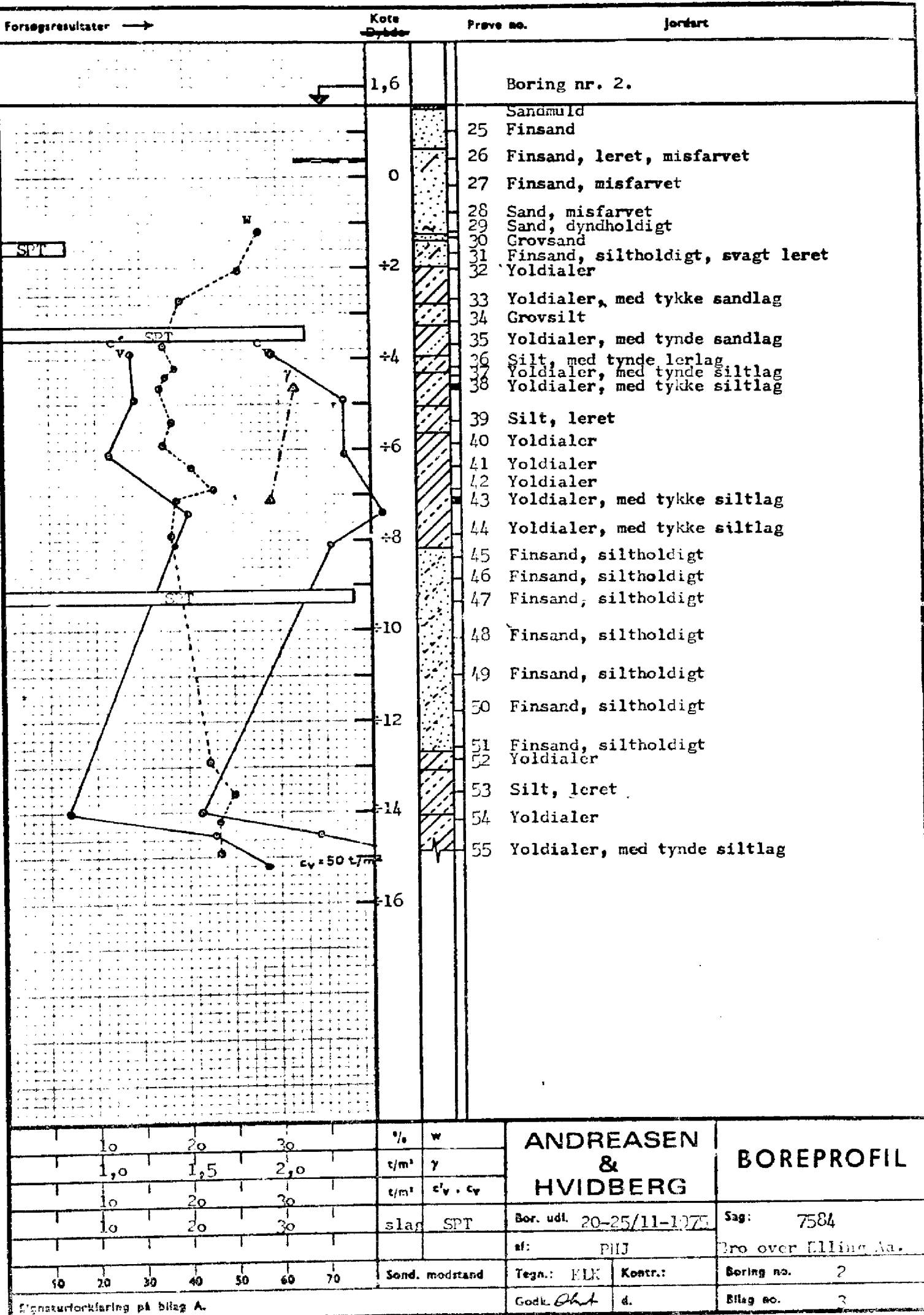
Bilag no.: 1



Boring nr. 1.

- 1 Muld, sandet, fyld
- 1 Finsand, misfarvet
- 2 Sand, med misfarvede partier
- 3 Sand
- 4 Finsand
- 5 Finsand
- 6 Sand, grusholdigt, med skaller
- 7 Ler, fedt
- 8 Grovsilt, sandet, svagt leret
- 9 Yoldialer, med tynde siltlag
- 10 Yoldialer, sprækket, med tynde siltlag
- 11 Yoldialer, med tykke lag af finsand
- 12 Ler, fedt
- 13 Ler, fedt, med tynde siltlag
- 14 Silt
- 15 Ler, fedt
- 16 Yoldialer, med tykke lag af finsand
- 17 Silt, leret
- 18 Ler, fedt, med tykke siltlag
- 19 Finsand
- 20 Finsand
- 21 Finsand
- 22 Finsand
- 23 Finsand
- 24 Finsand

10	20	30	%	w	ANDREASEN & HVIDBERG		BOREPROFIL	
1,0	1,5	2,0	t/m ³	γ				
10	20	30	t/m ³	c _v · c _v				
10	20	30	slag	SPT	Bor. udl. 18-19/11-1975		Sag: 7584	
10	20	30			af: F H		Bro over Elling Aa.	
10	20	30	Sond. modstand		Tegn.: KIK	Kontr.:	Boring no. 1	
10	20	30			Godk. <i>AM</i>	d.	Bilag no. 2	



Nominal bæreevne
af 25 x 25 cm
jernbetonpæl, t

10 20 30 40 50 60 70 80

Kurven må kun betragtes som orienterende.
Bæreevnen skal bestemmes ved anvendelse
af S₀-formlen.

Note til
tegning

ANDREASEN & HVIDBERG

Nominal bæreevne af 25 x 25 cm pæl

Forseg:

Tegn:

Se:

Bilag 3

Udvidelse af Elling Å under Skagensvej

Udgangssituationen - Mod Frederikshavn 2022

Bemærk at beregningerne i alle tilfælde vedrører trafik i én retning

Vejdata	Vejtype	2-sporet vej		
		Midterrabat	nej	*
		Køresporsbredde [m]	3,5	*
		Fri sidebredde 1 [m]	1,8	*
		Fri sidebredde 2 [m]	0,1	*
		Stigningskategori (1 - 4)	1	*
		Procentdel uden overhalingsmulighed	100	*
		Hastighed i udgangssituation [km/t]	80	
		Hastighed i betragtede situation [km/t]	80	
		Strækningens længde [m]	400	
		Reduktionsfaktor for vejarbejde	1,0	
		Ved lysregulering:	Omløbstid [s]	
			Beregnet grøntid [s]	

Trafikdata (intensiteter overført fra "Fremskrivning af trafik")							Alternative kapaciteter (benyttes i de timer hvor der er markeret)
Årstal:	2022	Bem.: Genereret ved fremskrivning af trafik					
Time	Trafikintensitet (køretøjer/t/retning)	* Retningsfordeling (kun 2-sporede veje)	Andel store køretøjer type a (5,8-12m) [%]	Andel store køretøjer type b (>12m) [%]	* Antal langsomme køretøjer (< 30 km/h) [køretøjer/t/retning] (kun 2-sporede veje)		
1	10	100	5,8	1,3		☐	
2	5	100	5,8	1,3		☐	0
3	4	100	5,8	1,3		☐	0
4	13	100	5,8	1,3		☐	0
5	27	100	5,8	1,3		☐	0
6	76	100	5,8	1,3		☐	0
7	260	100	5,8	1,3		☐	0
8	347	100	5,8	1,3		☐	0
9	248	100	5,8	1,3		☐	0
10	215	100	5,8	1,3		☐	0
11	235	100	5,8	1,3		☐	0
12	245	100	5,8	1,3		☐	0
13	253	100	5,8	1,3		☐	0
14	257	100	5,8	1,3		☐	0
15	274	100	5,8	1,3		☐	0
16	322	100	5,8	1,3		☐	0
17	256	100	5,8	1,3		☐	0
18	196	100	5,8	1,3		☐	0
19	140	100	5,8	1,3		☐	0
20	88	100	5,8	1,3		☐	0
21	72	100	5,8	1,3		☐	0
22	60	100	5,8	1,3		☐	0
23	48	100	5,8	1,3		☐	0
24	24	100	5,8	1,3		☐	0

Udvidelse af Elling Å under Skagensvej
Udgangssituationen - Mod Frederikshavn 2022
År 2022 Genereret ved fremskrivning af trafik

Trafikantgeneomkostninger på grund af for lille kapacitet og/eller pga. lysregulering

			Forsinkelse pga. for lille kapacitet			Fors. pga. lysregulering	I alt for ventetid i kø og for rødt lys		Nedsat hastighed			
time	Intensitet [køretøjer/t]	Kapacitet [køretøjer/t]	Antal køretøjer i kø ved timens udløb [køretøjer]	Forsinkelse for timens sidste køretøj [min]	Gennemsnitlig forsinkelse pr. køretøj [min]	Gennemsnitlig forsinkelse pr. køretøj [min]	Samlet forsinkelse [t]	Trafikantgeneomkostning for ventetid [kr.]	Tidstab personbiler [t/køretøj]	Tidstab lastbiler [t/køretøj]	Trafikantgeneomkostning for nedsat hastighed [kr.]	Største samlede forsinkelse for et enkelt køretøj [min]
1	10	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
2	5	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
3	4	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
4	13	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
5	27	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
6	76	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
7	260	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
8	347	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
9	248	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
10	215	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
11	235	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
12	245	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
13	253	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
14	257	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
15	274	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
16	322	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
17	256	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
18	196	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
19	140	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
20	88	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
21	72	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
22	60	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
23	48	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
24	24	1.199	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0

0

→

0

0

0

Max 0 min

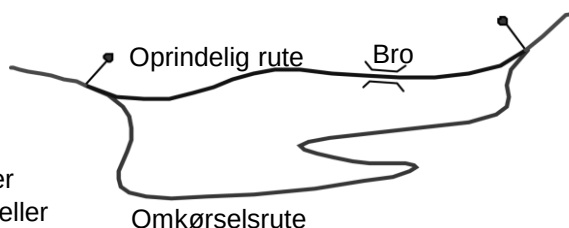
Samlet trafikantgeneomkostning pr. døgn for pågældende retning [kr.]:

Trafikantgeneomkostninger pga. omkørsel

Længden af oprindelig rute og af omkørselsruten måles mellem forgreningspunkterne.

Det er en forudsætning for at bruge dette program at der ikke er kapacitetsproblemer på hverken oprindelig rute eller omkørselsruten.

Programmet forudsætter at alle kører med den angivne hastighed, store køretøjer dog maks. 80 km/t.



Længde af oprindelig rute [km]	6,60
Længde af omkørselsrute [km]	14,60
Hastighed på oprindelig rute [km/t]	70
Hastighed på omkørselsrute [km/t]	50

Antal køretøjer pr. døgn	3675
Andel store køretøjer type a (5,8-12m) [%]	5,8
Andel store køretøjer type b (>12m) [%]	1,3

	antal	Øget tids- forbrug [t/bil]	Øget distance [km/bil]	Øgede tids- omkostninger i alt [kr.]	Øgede km.- omkostninger i alt [kr.]	Trafikantgene- omkostninger i alt [kr.]
Personbiler	3414,075	0,198	8,00	130.952	43.700	174.652
Store køretøjer type a	213,15	0,198	8,00	25.454	8.014	33.469
Store køretøjer type b	47,775	0,198	8,00	5.705	1.796	7.502
Samlede trafikantgeneomkostninger pr. døgn pga. omkørsel [kr.]						215.623

Der er benyttet følgende trafikøkonomiske enhedspriser:

	personbil	stor bil type a	stor bil type b
kr/time	194	604	604
kr/km	1,6	4,7	4,7

Priserne er inddateret på fanen Grunddata, hvor de kan ret

Bilag 4

Udvidelse af Elling Å under Skagensvej

Udgangssituationen - Mod Skagen 2022

Bemærk at beregningerne i alle tilfælde vedrører trafik i én retning

Vejdata	Vejtype	2-sporet vej	
	Midterrabat	nej	*
	Køresporsbredde [m]	3,5	*
	Fri sidebredde 1 [m]	1,8	*
	Fri sidebredde 2 [m]	0,1	*
	Stigningskategori (1 - 4)	1	*
	Procentdel uden overhalingsmulighed	0	*
	Hastighed i udgangssituation [km/t]	80	
	Hastighed i betragtede situation [km/t]	80	
	Strækningens længde [m]	400	
	Reduktionsfaktor for vejarbejde	1,0	
	Ved lysregulering:	Omløbstdid [s]	
		Beregnet grøntid [s]	

Trafikdata (intensiteter overført fra "Fremskrivning af trafik")						Alternative kapaciteter (benyttes i de timer hvor der er markeret)
Årstal:	2022	Bem.: Genereret ved fremskrivning af trafik				
Time	Trafikintensitet (køretøjer/t/retning)	* Retningsfordeling (kun 2-sporede veje)	Andel store køretøjer type a (5,8-12m) [%]	Andel store køretøjer type b (>12m) [%]	* Antal langsomme køretøjer (< 30 km/h) [køretøjer/t/retning] (kun 2-sporede veje)	
1	20	100	5,8	1,3		☐
2	7	100	5,8	1,3		☐
3	9	100	5,8	1,3		☐
4	13	100	5,8	1,3		☐
5	28	100	5,8	1,3		☐
6	90	100	5,8	1,3		☐
7	328	100	5,8	1,3		☐
8	348	100	5,8	1,3		☐
9	370	100	5,8	1,3		☐
10	365	100	5,8	1,3		☐
11	394	100	5,8	1,3		☐
12	439	100	5,8	1,3		☐
13	450	100	5,8	1,3		☐
14	474	100	5,8	1,3		☐
15	606	100	5,8	1,3		☐
16	789	100	5,8	1,3		☐
17	589	100	5,8	1,3		☐
18	441	100	5,8	1,3		☐
19	316	100	5,8	1,3		☐
20	217	100	5,8	1,3		☐
21	164	100	5,8	1,3		☐
22	153	100	5,8	1,3		☐
23	104	100	5,8	1,3		☐
24	58	100	5,8	1,3		☐

Udvidelse af Elling Å under Skagensvej
 Udgangssituationen - Mod Skagen 2022
 År 2022 Genereret ved fremskrivning af trafik

Trafikantgeneomkostninger på grund af for lille kapacitet og/eller pga. lysregulering

			Forsinkelse pga. for lille kapacitet			Fors. pga. lysregulering	I alt for ventetid i kø og for rødt lys		Nedsat hastighed			
time	Intensitet [køretøjer/t]	Kapacitet [køretøjer/t]	Antal køretøjer i kø ved timens udløb [køretøjer]	Forsinkelse for timens sidste køretøj [min]	Gennemsnitlig forsinkelse pr. køretøj [min]	Gennemsnitlig forsinkelse pr. køretøj [min]	Samlet forsinkelse [t]	Trafikantgeneomkostning for ventetid [kr.]	Tidstab personbiler [t/køretøj]	Tidstab lastbiler [t/køretøj]	Trafikantgeneomkostning for nedsat hastighed [kr.]	Største samlede forsinkelse for et enkelt køretøj [min]
1	20	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
2	7	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
3	9	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
4	13	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
5	28	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
6	90	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
7	328	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
8	348	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
9	370	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
10	365	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
11	394	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
12	439	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
13	450	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
14	474	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
15	606	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
16	789	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
17	589	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
18	441	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
19	316	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
20	217	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
21	164	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
22	153	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
23	104	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0
24	58	1.713	0	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0	0

0
 0 Max 0 min
 0

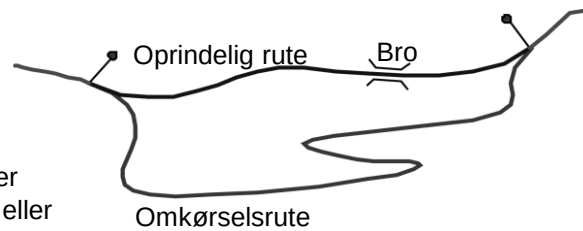
Samlet trafikantgeneomkostning pr. døgn for pågældende retning [kr.]:

Trafikantgeneomkostninger pga. omkørsel

Længden af oprindelig rute og af omkørselsruten måles mellem forgreningspunkterne.

Det er en forudsætning for at bruge dette program at der ikke er kapacitetsproblemer på hverken oprindelig rute eller omkørselsruten.

Programmet forudsætter at alle kører med den angivne hastighed, store køretøjer dog maks. 80 km/t.



Længde af oprindelig rute [km]	6,60
Længde af omkørselsrute [km]	14,60
Hastighed på oprindelig rute [km/t]	70
Hastighed på omkørselsrute [km/t]	50

Antal køretøjer pr. døgn	6772
Andel store køretøjer type a (5,8-12m) [%]	5,8
Andel store køretøjer type b (>12m) [%]	1,3

	antal	Øget tids- forbrug [t/bil]	Øget distance [km/bil]	Øgede tids- omkostninger i alt [kr.]	Øgede km.- omkostninger i alt [kr.]	Trafikantgene- omkostninger i alt [kr.]
Personbiler	6291,188	0,198	8,00	241.308	80.527	321.836
Store køretøjer type a	392,776	0,198	8,00	46.905	14.768	61.673
Store køretøjer type b	88,036	0,198	8,00	10.513	3.310	13.823

Samlede trafikantgeneomkostninger pr. døgn pga. omkørsel [kr.] 397.332

Der er benyttet følgende trafikøkonomiske enhedspriser:

	personbil	stor bil type a	stor bil type b
kr/time	194	604	604
kr/km	1,6	4,7	4,7

Priserne er inddateret på fanen Grunddata, hvor de kan ret

Bilag 5

Udvidelse af Elling Å under Skagensvej

Trafiksignal - Mod Frederikshavn 2022

Bemærk at beregningerne i alle tilfælde vedrører trafik i én retning

Vejdata	Vejtype	1-sporet dobbeltrettet vej med lysregulering	
		Midterrabat	nej *
		Køresporsbredde [m]	3,5 *
		Fri sidebredde 1 [m]	1,8 *
		Fri sidebredde 2 [m]	0,1 *
		Stigningskategori (1 - 4)	1 *
		Procentdel uden overhalingsmulighed	100 *
		Hastighed i udgangssituation [km/t]	80
		Hastighed i betragtede situation [km/t]	50
		Strækningens længde [m]	400
		Reduktionsfaktor for vejarbejde	1,0
	Ved lysregulering:	Omløbstdid [s]	180
		Beregnet grøntid [s]	61

Trafikdata (intensiteter overført fra "Fremskrivning af trafik")							
Årstal:	2022	Bem.: Genereret ved fremskrivning af trafik					
Time	Trafikintensitet (køretøjer/t/retning)	* Retningsfordeling (kun 2-sporede veje)	Andel store køretøjer type a (5,8-12m) [%]	Andel store køretøjer type b (>12m) [%]	* Antal langsomme køretøjer (< 30 km/h) [køretøjer/t/retning] (kun 2-sporede veje)		
1	20	100	5,8	1,3		☐	
2	7	100	5,8	1,3		☐	0
3	9	100	5,8	1,3		☐	0
4	13	100	5,8	1,3		☐	0
5	28	100	5,8	1,3		☐	0
6	90	100	5,8	1,3		☐	0
7	328	100	5,8	1,3		☐	0
8	348	100	5,8	1,3		☐	0
9	370	100	5,8	1,3		☐	0
10	365	100	5,8	1,3		☐	0
11	394	100	5,8	1,3		☐	0
12	439	100	5,8	1,3		☐	0
13	450	100	5,8	1,3		☐	0
14	474	100	5,8	1,3		☐	0
15	606	100	5,8	1,3		☐	0
16	789	100	5,8	1,3		☐	0
17	589	100	5,8	1,3		☐	0
18	441	100	5,8	1,3		☐	0
19	316	100	5,8	1,3		☐	0
20	217	100	5,8	1,3		☐	0
21	164	100	5,8	1,3		☐	0
22	153	100	5,8	1,3		☐	0
23	104	100	5,8	1,3		☐	0
24	58	100	5,8	1,3		☐	0

Udvidelse af Elling Å under Skagensvej
Trafiksignal - Mod Frederikshavn 2022
År 2022 Genereret ved fremskrivning af trafik

Trafikantgeneomkostninger på grund af for lille kapacitet og/eller pga. lysregulering

			Forsinkelse pga. for lille kapacitet			Fors. pga. lysregulering	I alt for ventetid i kø og for rødt lys		Nedsat hastighed			
time	Intensitet [køretøjer/t]	Kapacitet [køretøjer/t]	Antal køretøjer i kø ved timens udløb [køretøjer]	Forsinkelse for timens sidste køretøj [min]	Gennemsnitlig forsinkelse pr. køretøj [min]	Gennemsnitlig forsinkelse pr. køretøj [min]	Samlet forsinkelse [t]	Trafikantgeneomkostning for ventetid [kr.]	Tidstab person-biler [t/køretøj]	Tidstab lastbiler [t/køretøj]	Trafikantgeneomkostning for nedsat hastighed [kr.]	Største samlede forsinkelse for et enkelt køretøj [min]
1	20	475	0	0,0	0,0	0,67	0,22	49	0,003	0,003	13	1
2	7	475	0	0,0	0,0	0,66	0,08	17	0,003	0,003	5	1
3	9	475	0	0,0	0,0	0,66	0,10	22	0,003	0,003	6	1
4	13	475	0	0,0	0,0	0,66	0,14	32	0,003	0,003	9	1
5	28	475	0	0,0	0,0	0,67	0,31	70	0,003	0,003	19	1
6	90	475	0	0,0	0,0	0,70	1,05	234	0,003	0,003	60	1
7	328	475	0	0,0	0,0	0,86	4,68	1.044	0,003	0,003	220	1
8	348	475	0	0,0	0,0	0,87	5,06	1.129	0,003	0,003	233	1
9	370	475	0	0,0	0,0	0,89	5,49	1.226	0,003	0,003	248	1
10	365	475	0	0,0	0,0	0,89	5,39	1.203	0,003	0,003	244	1
11	394	475	0	0,0	0,0	0,91	5,99	1.336	0,003	0,003	264	1
12	439	475	0	0,0	0,0	0,95	6,99	1.559	0,003	0,003	294	1
13	450	475	0	0,0	0,0	0,97	7,24	1.616	0,003	0,003	301	1
14	474	475	0	0,0	0,0	0,99	7,83	1.747	0,003	0,003	317	1
15	606	475	131	16,6	8,3	0,99	93,82	20.932	0,003	0,003	406	18
16	789	475	446	56,3	36,5	0,99	492,45	109.869	0,003	0,003	528	57
17	589	475	560	70,8	63,5	0,99	633,50	141.341	0,003	0,003	394	72
18	441	475	526	66,5	68,6	0,96	511,50	114.120	0,003	0,003	295	70
19	316	475	367	46,4	56,5	0,85	301,89	67.355	0,003	0,003	212	58
20	217	475	110	13,9	30,2	0,78	111,88	24.961	0,003	0,003	145	31
21	164	475	0	0,0	2,4	0,74	8,73	1.947	0,003	0,003	110	3
22	153	475	0	0,0	0,0	0,74	1,88	419	0,003	0,003	102	1
23	104	475	0	0,0	0,0	0,71	1,23	274	0,003	0,003	70	1
24	58	475	0	0,0	0,0	0,68	0,66	148	0,003	0,003	39	1

Bemærk at ventetiden bliver meget lang (op til 72 minutter) !

492.649

4.533

Max 72 min

492.649

Samlet trafikantgeneomkostning pr. døgn for pågældende retning [kr.]:

497.182

Bemærk at beregningerne i alle tilfælde vedrører trafik i én retning

Vejdata	Vejtype	1-sporet dobbeltrettet vej med lysregulering		
		Midterrabat	nej	*
		Køresporsbredde [m]	3,5	*
		Fri sidebredde 1 [m]	1,8	*
		Fri sidebredde 2 [m]	0,1	*
		Stigningskategori (1 - 4)	1	*
		Procentdel uden overhalingsmulighed	100	*
		Hastighed i udgangssituation [km/t]	80	
		Hastighed i betragtede situation [km/t]	50	
		Strækningens længde [m]	400	
		Reduktionsfaktor for vejarbejde	1,0	
	Ved lysregulering:	Omløbstid [s]	180	
		Beregnet grøntid [s]	61	

Trafikdata (intensiteter overført fra "Fremskrivning af trafik")					
Årstal: 2022		Bem.: Genereret ved fremskrivning af trafik			
Time	Trafikintensitet (køretøjer/t/retning)	* Retningsfordeling (kun 2-sporede veje)	Andel store køretøjer type a (5,8-12m) [%]	Andel store køretøjer type b (>12m) [%]	* Antal langsomme køretøjer (< 30 km/h) [køretøjer/t/retning] (kun 2-sporede veje)
1	10	100	5,8	1,3	
2	5	100	5,8	1,3	
3	4	100	5,8	1,3	
4	13	100	5,8	1,3	
5	27	100	5,8	1,3	
6	76	100	5,8	1,3	
7	260	100	5,8	1,3	
8	347	100	5,8	1,3	
9	248	100	5,8	1,3	
10	215	100	5,8	1,3	
11	235	100	5,8	1,3	
12	245	100	5,8	1,3	
13	253	100	5,8	1,3	
14	257	100	5,8	1,3	
15	274	100	5,8	1,3	
16	322	100	5,8	1,3	
17	256	100	5,8	1,3	
18	196	100	5,8	1,3	
19	140	100	5,8	1,3	
20	88	100	5,8	1,3	
21	72	100	5,8	1,3	
22	60	100	5,8	1,3	
23	48	100	5,8	1,3	
24	24	100	5,8	1,3	

</

Bilag 6

Bro nr. 14-0-034.00, UF af L-vej 512, Frederiksborgvej

Trafiksignal - Mod Skagen 2022

År 2022 Genereret ved fremskrivning af trafik

Trafikantgeneomkostninger på grund af for lille kapacitet og/eller pga. lysregulering

			Forsinkelse pga. for lille kapacitet			Fors. pga. lysregulering	I alt for ventetid i kø og for rødt lys		Nedsat hastighed			
time	Intensitet [køretøjer/t]	Kapacitet [køretøjer/t]	Antal køretøjer i kø ved timens udløb [køretøjer]	Forsinkelse for timens sidste køretøj [min]	Gennemsnitlig forsinkelse pr. køretøj [min]	Gennemsnitlig forsinkelse pr. køretøj [min]	Samlet forsinkelse [t]	Trafikantgeneomkostning for ventetid [kr.]	Tidstab person-biler [t/køretøj]	Tidstab lastbiler [t/køretøj]	Trafikantgeneomkostning for nedsat hastighed [kr.]	Største samlede forsinkelse for et enkelt køretøj [min]
1	10	475	0	0,0	0,0	0,66	0,11	25	0,003	0,003	7	1
2	5	475	0	0,0	0,0	0,66	0,05	12	0,003	0,003	3	1
3	4	475	0	0,0	0,0	0,66	0,04	10	0,003	0,003	3	1
4	13	475	0	0,0	0,0	0,66	0,14	32	0,003	0,003	9	1
5	27	475	0	0,0	0,0	0,67	0,30	67	0,003	0,003	18	1
6	76	475	0	0,0	0,0	0,69	0,88	196	0,003	0,003	51	1
7	260	475	0	0,0	0,0	0,81	3,49	778	0,003	0,003	174	1
8	347	475	0	0,0	0,0	0,87	5,04	1.124	0,003	0,003	232	1
9	248	475	0	0,0	0,0	0,80	3,29	735	0,003	0,003	166	1
10	215	475	0	0,0	0,0	0,77	2,78	619	0,003	0,003	144	1
11	235	475	0	0,0	0,0	0,79	3,09	688	0,003	0,003	157	1
12	245	475	0	0,0	0,0	0,79	3,24	724	0,003	0,003	164	1
13	253	475	0	0,0	0,0	0,80	3,37	753	0,003	0,003	169	1
14	257	475	0	0,0	0,0	0,80	3,44	767	0,003	0,003	172	1
15	274	475	0	0,0	0,0	0,82	3,72	830	0,003	0,003	183	1
16	322	475	0	0,0	0,0	0,85	4,57	1.019	0,003	0,003	216	1
17	256	475	0	0,0	0,0	0,80	3,42	764	0,003	0,003	171	1
18	196	475	0	0,0	0,0	0,76	2,49	556	0,003	0,003	131	1
19	140	475	0	0,0	0,0	0,73	1,70	379	0,003	0,003	94	1
20	88	475	0	0,0	0,0	0,70	1,03	229	0,003	0,003	59	1
21	72	475	0	0,0	0,0	0,69	0,83	185	0,003	0,003	48	1
22	60	475	0	0,0	0,0	0,68	0,68	153	0,003	0,003	40	1
23	48	475	0	0,0	0,0	0,68	0,54	121	0,003	0,003	32	1
24	24	475	0	0,0	0,0	0,67	0,27	60	0,003	0,003	16	1

10.826

2.460

Max 1 min

10.826

13.286

Samlet trafikantgeneomkostning pr. døgn for pågældende retning [kr.]: