

SATELLITDATA

til Strategisk Ledningsnet Overvågning
(SASLO)



SATELLITDATA TIL STRATEGISK LED- NINGSNET OVERVÅGNING (SASLO)

DATO: 22-06-2020

Projekt ID: 1142.2017

Udgiver:

DANVA, Dansk Vand- og Spildevandsforening. Juni 2020.

Udarbejdet af:

Lemvig Vand og Spildevand A/S: Albert Jensen, Flemming Andersen, Lars Nørgård Holme-
gaard

Rambøll: Nils Bischoff

Center for Forskning og Udvikling i Byggeri, Energi, Vand & Klima, VIA University College:
Majbritt Lund, Theis Raaschou Andersen

Finansiering:

Arbejdet er finansieret af
VUDP, Vandsektorens Udviklings- og Demonstrationsprogram

Samarbejdspartnere:

Lemvig Vand og Spildevand A/S
Rambøll
VIA University College, Center for Forskning og Udvikling i Byggeri, Energi, Vand & Klima

Kategori (Spildevand, drikkevand eller klimatilpasning):

Spildevand

Indholdsfortegnelse

1	Sammenfatning	3
2	English summary	4
3	Introduktion	5
4	Projektets betydning for vandbranchen	7
4.1	Marked og/eller anvendelsesmuligheder	7
4.2	Næste skridt	8
4.3	Formidlingsplan	8
5	Projektet	10
5.1	Formål	10
5.2	Output	10
5.3	Projektresultater	10
5.3.1	Satellitdata	10
5.3.2	Fra satellitdata til relevant information i ledningsnettet	13
5.3.3	Tolkede data for projektområdet	16
5.3.4	Vurdering af terrænændringer i projektområdet	18
5.3.5	Terrænsætninger og ledningsbrug	22
5.4	Terrænændringer og hydraulisk modellering	24
5.4.1	Modelopbygning	24
5.4.2	Hydraulisk modellering og terrænændringer	29
5.4.3	Vurdering af hydraulisk modellering med terrænændringer	33
6	Konklusion	35
7	Referencer	36
	Bilag 1. Kort vejledning vand- og spildevandsselskaber omkring anvendelsen af satellitdata i forbindelse med ledningsnettet	37

1 Sammenfatning

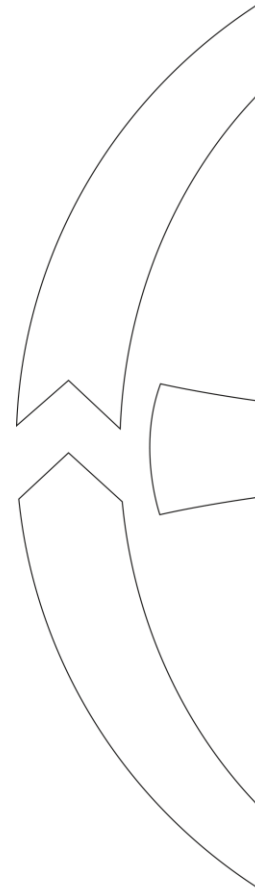
Mange områder i Danmark er udfordret af lokale terrænændringer på op til flere mm om året. Når der sker terrænændringer bevæger vand- og kloaksystemerne sig også, hvilket kan skabe en række udfordringer for forsyningsselskaberne. Ved lokale terrænændringer er der risiko for at ledningsnettet i kloaksystemet ikke ændrer sig ens og dermed ændrer på den planlagte hydraulik, så vandet ikke længere afledes optimalt, der kan opstå tilbagefald i ledningerne eller i værste fald ledningsbrud.

Lemvig Vand og Spildevand (LVS) har investeringer for 1,2 mia. kr. i ledningsnettet. En vigtig parameter i ovenstående investeringer er, at forsyningerne kan regne med en lang levetid for deres anlæg – typisk ansættes der en levetid på ledningsnettet på 75 år. Hos LVS har man gennem tiden oplevet at skulle skifte vand- og kloakrør, hvor levetiden reelt var reduceret til 20-40 år. Derfor er øget viden og præcision vedrørende lokale terrænændringer interessant i forhold til drift og vedligehold af forsyningernes ledningsnet.

Dette projekt er gennemført som et tværfagligt partnerskab mellem forsyningsselskabet Lemvig Vand og Spildevand, den rådgivende ingeniørvirksomhed Rambøll og vidensinstitution, VIA University College. Lokale terrænændringer lokaliseret ved hjælp af satellitmålinger, der sammen med lokalekendskab og nivellementer har givet terrænændringshastigheder for hele Thyborøn by. Projektet har dermed bidraget til et stærkere fundament i arbejdet med satellit data i ledningsregistrering.

Projektet har demonstreret hvordan de tilgængelige satellitdata om lokale terrænbevægelser kan indarbejdes i en hydrauliske modellering af et ledningsnetværk for regnvand, hvor koterne i ledningsnettet løbende ændres. Metoden er demonstreret for et afgrænset byområde i den nordøstlige del af Thyborøn, hvor terrænsætningerne kan fremskrives til 10-20 cm over de kommende 20 - 75 år. Den dynamiske hydrauliske model viser, at det fremadrettet vil være de samme områder, der har risiko for vand på terræn som i dag. Desuden viser modelleringen ingen særlige risikostrækninger i forhold til funktionsnedsættelser i ledningsnettet i modelområdet. Der er ved projektets afslutning planer om at belyse potentielle fremtidige funktionsnedsættelser andre steder i Thyborøn. Metoden, der er anvendt i dette modelområde, kan umiddelbart overføres til andre områder og forsyningsselskaber, der oplever terrænændringer i hele eller dele af deres ledningsnet.

Projektet har bidraget til at udvide horisonten for, hvilke data, der kan anvendes til hydraulisk modellering af fremtidsscenerier. Desuden demonstrerer projektet hvorledes anvendelsen af satellitdata og deraf dynamiske hydrauliske modeller kan forbedre det datagrundlag, der indgår i vandselskabernes asset management og investeringsstrategier og dermed som et vigtigt ledelsesværktøj for landets vandselskaber.



2 English summary

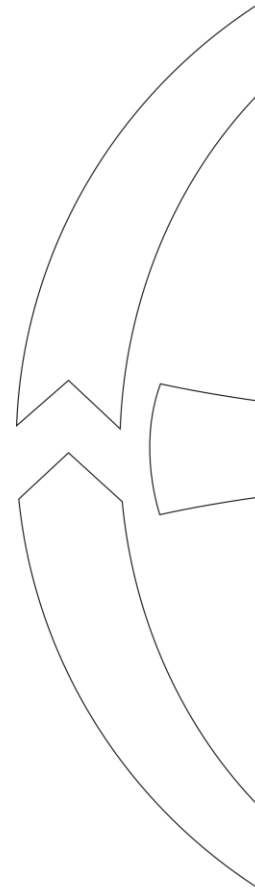
Several areas in Denmark are today challenge by local ground subsidence, where changes in level of terrain can be several mm per year. When an area experience local ground subsidence underground infrastructure as water and sewage systems also experience changes – this can cause a number of challenges for the utilities responsible for these infrastructural assets. In case of local ground subsidence, there is a risk that the pipes and wells in the sewer system will not change at the same rate and thus alter the planned hydraulics of the system. Hence the water is no longer diverted optimally, which can result in recirculation or back-flow in the pipes or, in the worst case, pipe failures.

Lemvig Water and Wastewater (LVS) has investments for 1.2 billion DKK in underground pipe network. An important parameter in the above investments is that the utility can expect a long service life for their assets – typically, a service life of 75 years is assumed. Over time, LVS has experienced the need to change water and sewer pipes, where service life was effectively reduced to 20 - 40 years. Therefore, increased knowledge and precision regarding local ground subsidence is interesting in relation to the operation and maintenance of the underground infrastructure.

This project are conducted as an interdisciplinary partnership between Lemvig Water and Wastewater, Ramboll and VIA University College. Local ground subsidence have been localized using satellite measurements, that, together with local knowledge and supporting precise levelling made it possible to calculate local ground subsidence rates for the entire Thyborøn city. The project has thus contributed to a stronger foundation in the work of applying satellite data application within the underground pipe network registration.

The project has demonstrated how the available satellite data on local ground subsidence can be incorporated into a hydraulic modeling of an underground pipe network, where the quotas in the pipe grid are constantly changing. The method has been demonstrated for a defined urban area in the northeastern part of Thyborøn, where the ground subsidence can be projected to 10 – 20 cm over the next 20 – 75 years. The dynamic hydraulic model shows that the areas at risk for flooding in the future will be the same as today. Furthermore, the modeling does not point out any specific part of the pipe network that are in special risk of functional reduction due to the projected ground subsidence in the model area. At the end of the project there are plans to elucidate potential future functional reductions in other districts of Thyborøn. The methodology used in model area in this project can be immediately transferred to other areas and utilities that experience local ground subsidence.

The project has encouraged broadening the horizon of what data can be used for hydraulic modeling of future scenarios. In addition, the project demonstrates how the use of satellite data and hence dynamic hydraulic models can improve the applied data that is included in the water companies' asset management and investment strategies and hereby as an important management tool for the utility companies.



3 Introduktion

Mange områder i Danmark er udfordret af terrænsætninger på flere mm om året f.eks. sætter dele af Thyborøn sig op til 7 mm årligt. Når terrænet sætter sig, så sætter ledningsnettet sig også. Sætningerne varierer betydeligt lokalt også inden for meget små afstande. Det betyder, at nabobrønde på kloaksystemet ikke nødvendigvis sætter sig ens og med samme hastighed. Når det forekommer, er der risiko for, at der opnås bagfald på kloakerne, således at vandet ikke kan afledes optimalt (hydraulikken ændres), eller risiko for at kloakledningerne knækker.

Forsyningsselskabernes har mange aktiver under jorden, der har til formål at opsamle og transportere vand af forskellige karakterer, såsom regnvand, kloak og spildevand, samt drikkevand. Spildevandsledninger udgør ca. 88.000 km ledningsnetværk (Konkurrence og Forbrugerstyrelsen, 2018) og i alt har forsyningsselskaberne ca. 109.000 km ledninger i jorden, hvilket svarer til en værdi på > 200 mia kr. Alene Lemvig Vand og Spildevand (LVS) har investeringer for 1,2 mia. kr. i ledningsnettet. En vigtig parameter i ovenstående investeringer er, at forsyningerne kan regne med en lang levetid for deres anlæg – typisk ansættes der en levetid på ledningsnettet på 75 år regnskabsmæssigt for at kunne forrente investeringen økonomisk fornuftigt.

Levetiden af selskabernes aktiver under jorden er et centralt begreb dels i forhold til drift og vedligehold, men i høj grad også regnskabs- og investeringsmæssigt for forsyningerne. Desværre ses det ofte, at ledningsnettets levetid er mindre og at de løbende drifts- og renoeringsomkostninger er højere end estimeret. Hos LVS har man gennem tiden oplevet at skulle skifte vand- og kloakrør, hvor levetiden reelt var reduceret til 20-40 år.

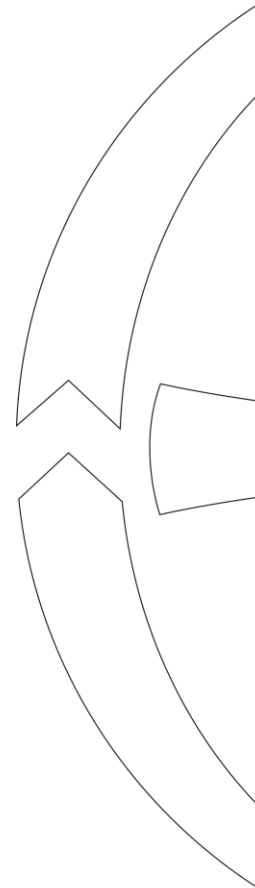
Ovenstående problemstillinger betyder, at LVS har markant forøgede driftsudgifter i Thyborøn, dels i form af reparationer, dels som følge af øget vedligeholdelse og dels grundet lavere levetid, hvilket forringer investeringen betragteligt.

For at imødegå overstående udfordringer er LVS begyndt med at registrere sætningerne (i 1 mm skala) i Thyborøn via satellitter (PSI INSAR mapping). Herved opnås en fladefordeling af sætningerne i Thyborøn, og det tydeliggøres, hvor sætningerne er størst.

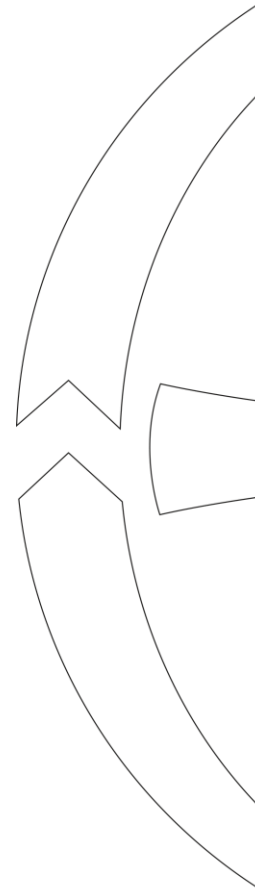
Nationalt og internationalt er der blevet udpeget mange potentielle anvendelsesområder af INSAR-data, hvoraf forsyningsbranchen forventes at være en af de brancher, der kan opnå den største værdi af disse data (PWC, 2017). Projektet har derfor til formål at undersøge og demonstrere potentialerne forbundet med at inddrage satellitdata i LVS ledningsregistrering og modellering af mulige fremtidsscenerier for forsyningens ledningsnetværk.

LVS, Rambøll og VIA University College vil i nærværende projekt integrere satellitdata med eksisterende viden om ledningsnetværket samt med den eksisterende hydrauliske model for ledningsnetværket i Thyborøn. Herved kan der opstilles dynamiske modeller for, hvor der i fremtiden kan forventes funktionsnedsættelser i ledningsnettet. Dette kan være i form af brud eller u hensigtsmæssige hældningsændringer eller i forbindelse med håndtering af regnvand om forventninger til vand på terræn.

Der er ikke tidligere arbejdet med at koble satellitdata med hydraulisk modellering. Det at arbejde med dynamisk hydraulisk modellering i forhold til at terrænet løbende ændres og dermed at koterne på kloakken løbende ændres, er en ny disciplin, hvorfor der i projektet vil være brug for stor tværfagligt samarbejde mellem parterne.



Ovenstående model vil i særdeleshed være relevant i forhold til langtidsplanlægning af investeringer og drift samt til teknisk at kvalificere, hvor det vil være relevant at anlægge kloakken ved hjælp af nyudviklede metoder, der reducerer risikoen for sætningsrelaterede ekstraomkostninger til fornyelse og drift. Det forventes at dette projekt kan bidrage til et øget værdipotential for brug af satellit-data i forsyningsbranchen.



4 Projektets betydning for vandbranchen

Hos Lemvig Vand og Spildevand har man gennem tiden oplevet at skulle skifte vand- og kloakrør, hvor levetiden reelt var reduceret til 20-40 år. Generelt holder rør i Danmark i gennemsnit 47 år. Den kortere levetid end estimeret kan skyldes kvaliteten af valgte materialer, kvaliteten af det udførte entreprenørarbejde eller andre lokale forhold. I Thyborøn har man gennem inddragelse af terrænændringer i datagrundlaget for ledningsnettet fået øje på, at de lokale terrænændringer i højere grad end materialevalg og entreprenørarbejde kan være skyld i den kortere levetid for deres rør i området.

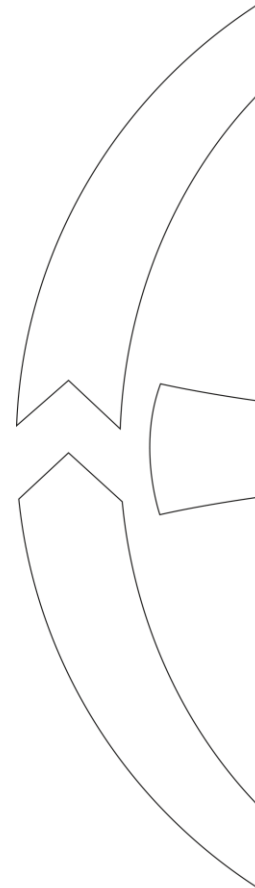
Derfor er værktøjer, der kan bidrage til beslutningsgrundlaget for forsyningsselskabernes investeringer vigtige både for den tekniske og servicemæssige funktion af ledningsnetværket samt vurdering af den økonomiske risiko. Projektet har vist, at de tilgængelige satellitdata om lokale terrænbevægelser kan oversættes og anvendes som kvalificeret datagrundlag både med hensyn til renoveringsplanlægning og i den fremadrettede investeringsstrategi. Projektet har dermed bidraget til et stærkere fundament i arbejdet med satellit data i ledningsregistrering og har bidraget til et bedre beslutningsgrundlag for forsyningen.

Talrige områder i Danmark har en forhøjet risiko for terrænsætninger – f.eks. ved Aalborg og København. Ved at drage satellit data ind i forsyningernes eksisterende hydrauliske modeller vil disse blive dynamiske og langt mere operationelle, således at den fremadrettede planlægning, investeringsstrategi og asset management sker på bedst mulige grundlag. Generelt bidrager informationerne om terrænændringer fra satellitdata til det samlede datagrundlag for muligheder og risici for et givent geografisk område. Disse informationer bidrager til øget forståelse for et lokalt område samt muliggøre mere troværdige fremtids-scenarier for området, for eksempel i forhold til klimatilpasninger. Et styrket datagrundlag bidrager til bedre Asset Management med øget mulighed for at optimere forbruget af materialer til ledningsnettet, antallet af og planlægningen af reparationer samt i forbindelse udarbejdelsen af klimatilpasningsplaner og tiltag. Det styrkede datagrundlag bidrager dermed til at øge den grønne profil ved forsyningsselskaberne.

4.1 Marked og/eller anvendelsesmuligheder

I forbindelse med en behovsanalyse for tværoffentlig infrastruktur for satellitdata lavet i 2017, var der mere end 80% af de adspurgte private virksomheder, der kunne se muligheder for anvendelse af satellitdata eller satellitbaserede produkter inden for vandforsyning, kloakering og affaldshåndtering (PWC, 2017).

Problemstillingerne i forbindelse med lokale terrænændringer og asset management i forsyningsbranchen er ikke unikke for det danske marked, hvorfor markedet for f.eks. konsulenter, der kan assistere forsyningsselskaber med at inddrage lokale terrænændringer i forsyningernes håndtering, planlægning og investeringer for deres ledningsnet, vil være bredere end de danske forsyningsselskaber. Der er i forbindelse med dette projekt og andre lignende projekter allerede opbygget solid erfaring for håndtering og anvendelse af satellitdata hos flere aktører på det danske marked.



Anvendelsen af styrket datagrundlag for lokale terrænændringer vil naturligt ligeledes have anvendelse uden for forsyningsbranchen, for eksempel i forbindelse med klimatilpasningsprojekter, myndighedsforvaltning på miljø og naturområdet samt for infrastrukturprojekter. Desuden er der allerede en interesse fra infrastruktur-knudepunkter som de danske havne på implementering og anvendelse af erfaringerne, der er indsamlet i dette projekt. Det nye Klimatorium i Lemvig arbejder videre med potentialerne i disse markeder.

4.2 Næste skridt

På baggrund af erfaringerne fra projektet er informationerne om terrænændringer allerede nu implementeret i LVSs strategiske planlægning.

Der er på baggrund af erfaringerne fra det indeværende projekt udarbejdet en kort vejledning til andre forsyningsselskaber om at komme i gang med at bruge satellitbaserede data om terrænændringer i deres datagrundlag og beslutningsværktøjer i forbindelse med investeringer. Herudover vil det nye Klimatorium i Lemvig være en facilitator for et after-life på SASLO projektet og dermed viderebringe den viden forsyningen har fået i projektet.

Satellitdata er i indeværende projekt sammenholdt med andre målinger og data, således at der er oparbejdet et solidt viden grundlag. Der vil derfor være gode muligheder at anvende satellitdata til realtidsovervågning af bevægelserne i Thyborøn fremadrettet.

4.3 Formidlingsplan

Projektets formål er i løbet af projektperioden blevet formidlet til andre Vand- og Spildevandsselskaber samt andre interessenter inden for forsyningsbranchen både nationalt og internationalt af Lemvig Vand og Spildevand.

Desuden har der været formidling til den brede offentlighed gennem interviews og nyhedsindslag i lokale medier.

Efter projektets afslutning er det ambitionen at projektresultaterne formidles til målgrupperne: Vand- og Spildevandsselskaber, Rådgivende ingeniørfirmaer inden for forsynings- og byggebranchen, Brancheorganisationen inden for vandbranchen (DANVA) samt forskningsmiljøer og uddannelsessteder med interesse for vand- og spildevandsbranchen. Dette forventes at ske gennem præsentationer i relevante netværk, eksempelvis ATV-møder og DANVAs arrangementer samt ved inddragelse af projektformål og resultater i undervisningsmaterialer på VIA University College for Klima- og Forsyningsingeniører samt på uddannelsen til Kort og Landmålerstekniker.

Dato	Midler/ Hvor	Begivenhed	Målgruppe	Hvem	Udført
------	--------------	------------	-----------	------	--------

08/02-2018	Interview Nyhederne TVMidtVest	TVmidtvest – Nyhederne kl 19:30	Lokal befolkning	LVS, Lars Nørgård Holmegaard	✓
05- 2019	Artikel, Geoforum	Artikel, Geoforum	Branche i Dk	LVS, Lars Nørgård Holmegaard	✓
30-05-2020	Projektrapport	Aflevering af rapport til distribution gennem DANVA	DANVA	Alle	✓
Efterår 2020	Artikel, Jord og Vand	Artikel i tidskriftet Jord og Vand	Branchen i Dk	VIA, Majbritt Lund	
2020-2021	Formidling og inspiration	Klimatorium, Lemvig	Branchen i Dk, EU	LVS	

5 Projektet

5.1 Formål

Formålet med SALSO projektet er at undersøge og demonstrere hvordan satellitdata, der registrerer lokale ændringer af jordoverfladen kan oversættes og implementeres i ledningsregistreringen for et forsyningsselskab. Desuden vil projektet koble denne viden til den hydraulisk modellering af et ledningsnetværk i Thyborøn. Ved at koble de løbende opsamlede sætningsdata fra satellitovervågningen af området med den eksisterende hydrauliske model for området, bliver den hydrauliske modellerings ydre miljø dynamisk og hermed anvendes de lokale terrænændringer til at følge ledningsnetværkets koter i fremtidsscenerier af ledningsnettet, i.e. forudsigelser af netværksstrækninger med risiko for tilbageløb eller lunger.

Der er ikke tidligere arbejdet med at koble satellitdata med hydraulisk modellering. Det, at arbejde med dynamisk hydraulisk modellering i forhold til at terrænet løbende ændres og at koterne i ledningsnetværket løbende ændres, er derfor en ny disciplin, der gennem projektet demonstrer, hvilke ny anvendelsesmuligheder dette kan give forsyningsselskabet i områder, hvor der sker løbende og lokale ændringer i terræn.

5.2 Output

Der er på baggrund af erfaringerne fra projektet udarbejdet en kort vejledning til andre forsyningsvirksomheder som introduktion og inspiration til anvendelsen af tilgængelige satellitdata vedrørende lokale terrænændringer i forsyningernes data- og beslutningsgrundlag. Vejledningen er vedhæftet denne rapport som bilag og kan læses og anvendes uafhængigt af rapporten.

Gennem projektet er satellitdata og hydraulisk modellering blevet arbejdet sammen til en ny dynamisk metode tilgang, der har vist sig nyttigt specielt i forhold til drift og vedligeholdelsesarbejde i ledningsnettet.

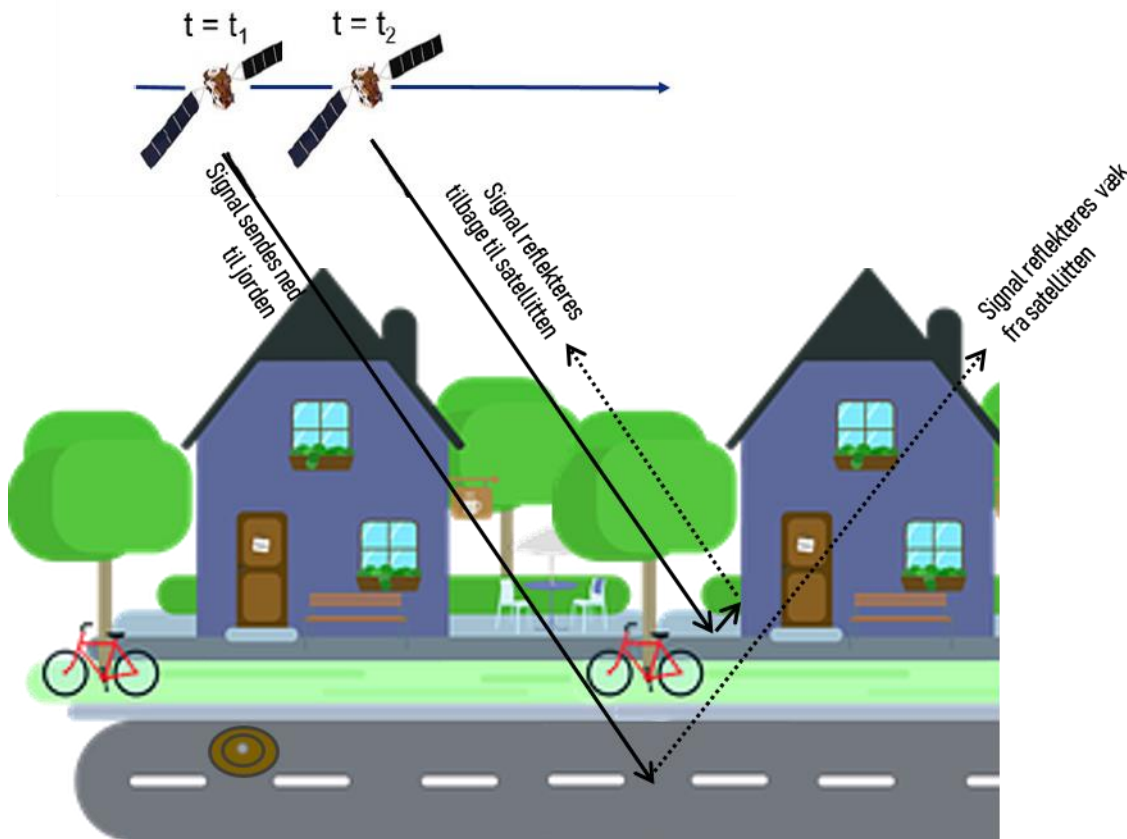
5.3 Projektresultater

5.3.1 Satellitdata

I forbindelse med EU-Kommissionens jordobservationsprogram Copernicus er der opsendt to satellitter, Sentinel-1A (opsendt i 2014) og Sentinel-1B (opsendt i 2016). Disse satellitter overflyver Danmark systematisk, hvilket betyder at der løbende opsamles satellitdata af hele Danmark med seks dages mellemrum. Figur 1 viser princippet bag de opsamlede satellitdata.

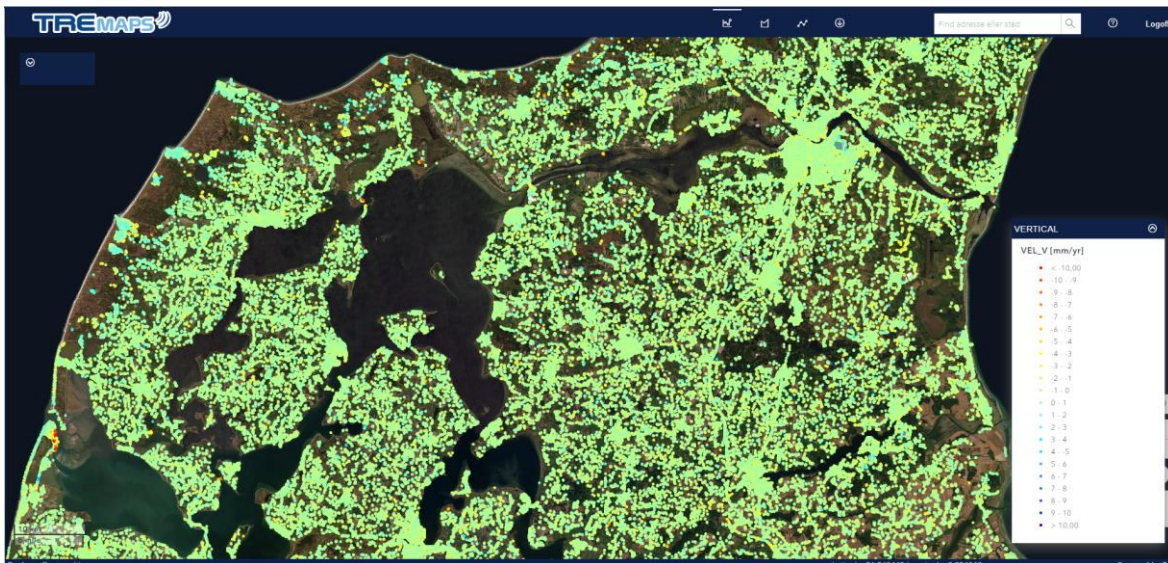
Alle data fra Copernicus-programmet er stillet frit tilgængelige frem til år 2030. Der er derfor store datamængder til rådighed igennem programmet. Der er flere muligheder for at finde disse radar-data, bl.a. Gennem Copernicus-programmets adgangshub: "Copernicus Open Access Hub" (link: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). De data, der her er til rådighed er forskellige former for rå-data. For at arbejde videre med disse data, skal

man have special-kendskab til håndtering og databehandling af disse formater for at anvende disse data.



Figur 1 Princippet bag Sentinel-1 satelliternes radarmålinger (PSI INSAR mapping), når de overflyver f.eks. Danmark hver 6.dag. En enkelt overflyvning giver radar signaler, der kan måle overfladehøjden af de reflekterende punkter. Gentagne overflyvninger giver mulighed for sammenligninger af overfladehøjdemålingerne fra de reflekterende punkter. Ved tilstrækkelige reflekterende punkter i et område samt tilstrækkelig mange overflyvninger af samme område øges nøjagtigheden af overflademålingen.

Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (SDFE) har indgået aftale om at kunne stille beregninger for landbevægelser baseret på Sentinel-1 data frit til rådighed. Foreløbig aftale frem til slutningen af 2021. Dog bliver aftalen sandsynligvis forlænget muligvis til 2030. De beregninger for landbevægelser SDFE kan stille til rådighed pt. baserer sig på data opsamlet i perioden 2014 – 2019 for hele Danmark. Der er desuden en korrektion af data med Global Navigation Satellite System (GNSS)-data, således at der i alt er anvendt satellitdata fra 13 spor, hvilket giver data høj opløsning i både tid og rum. Dette giver beregningerne for landbevægelserne nøjagtighed landbevægelser på mm-niveau. Figureerne herunder giver to eksempler på datatilgængeligheden for disse nøjagtige landbevægelsesregistre-



Figur 2 Kortudsnit af Danmark, der viser et eksempel på tilgængeligheden af datapunkter, hvor landbevægelser er beregnet på baggrund af satellitdata fra perioden 2014-2019. Kortet viser områderne langs med Limfjorden på tværs af Jylland (SDFE/TRE Altamira, 2020).



Figur 3 Eksempel på datagrundlag fra Lemvig by og nærliggende landområder. Her ses tydeligt forskel på datatæthed for bebyggede område kontra land- og naturområder. Farverne på punkterne viser i de grønne nuancer ingen lokal landbevægelse i mm/år, blå punkter har lokal terrænhævning i mm/år og røde punkter har lokal terrænsænkninger i mm/år (SDFE/TRE Altamira, 2020).

Beregninger for landbevægelser, der stilles til rådighed fra SDFE giver et overblik over, hvilke landbevægelsesdata, der er til rådighed i et givent område. Beregningerne består af forskellige datasæt. Arbejdet med disse datasæt, kræver kendskab til hvilke datasæt, der skal anvendes til hvilke typer af analyser i et område. Det vil derfor typisk være nødvendigt for forsyningen af søge assistance af en ekstern konsulent for at omsætte beregningerne for landbevægelser i et område til det bedst mulige grundlag for forsyningen at arbejde videre med. Landbevægelsesberegningerne kommer alle i WGS84 geografiske koordinater, ønskes data i et andet geografisk koordinatsystem, kan disse translateres hertil f.eks. ved hjælp af et GIS program.

Data og landbevægelsesberegningerne har en rumlig opløsning på 5m x 20m. Der arbejdes oftest med punktmålinger fra dataserierne. I så tilfælde er det et specifikt punkt på jordoverfladen, der har givet den kraftigste refleksion inden for dette måleområde (typisk en bygning eller teknisk installation, se figur 1). På grund af den rumlige opløsning på 5 x 20m er det ikke altid muligt umiddelbart at fastlægge, hvilken reflektor der danner baggrund for det anvendte signal.

Hvorvidt dette datagrundlag er tilstrækkeligt og giver den relevante information for et område vil afhænge af, hvilken præcision og anvendelse forsyningen ønsker at anvende datagrundlaget til. I forbindelse med screeninger af et områdes lokale terrænændringer og øget datagrundlag for et område generelt giver disse data et solidt indblik i områdets lokale landbevægelser

I Thyborøn har SDFE og LVS opstillet tre specielle hjørnereflektorer, der kan sikre data præcision samt bruges til kalibrering af satellitdata og eksisterende data. Disse kaldes også Compact Active Transponders (CATs) og blev opstillet i 2017 (se figur 4), målinger fra disse præcisionsreflektorer kan nu indgå i det samlede datasæt for Thyborøn.

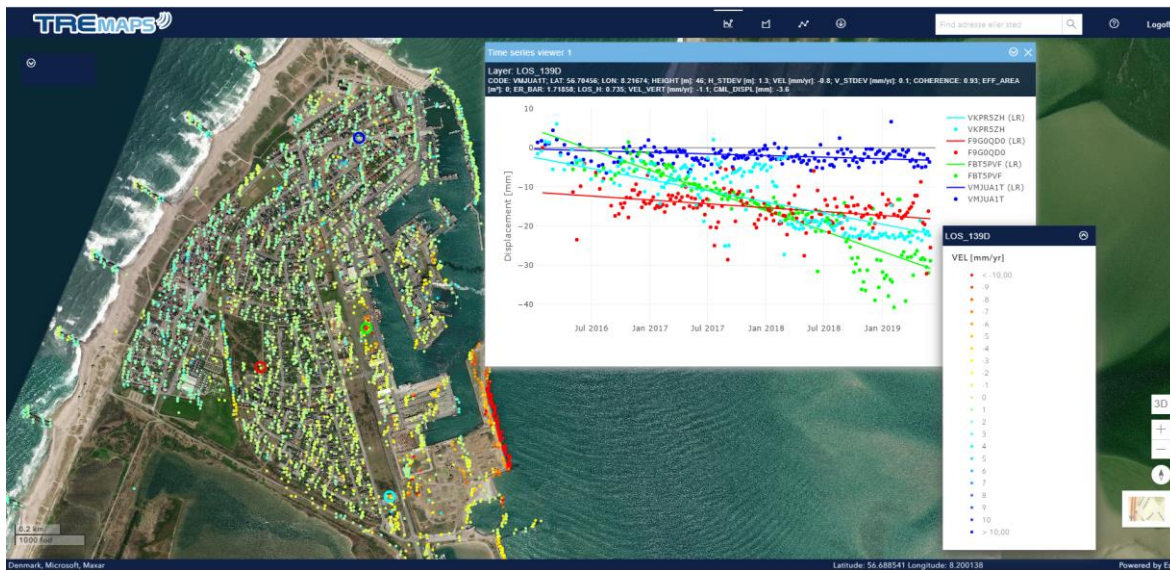


Figur 4 Hjørnereflektor opsat på et stabilt fundament, kan anvendes som kendt, specifikt reflektorpunkt i et område. Dette kan hjælpe til kalibrering af data, samt øge nøjagtigheden af datagrundlaget for landbevægelsesberegningerne. Foto tv: LVS, Foto th: Benny Gade.

Erfaringerne fra projektet i Lemvig vurderer at udgiften forbundet med opstillingen af tre hjørnereflektorer ligger på ca. 160.000 – 180.000 dkr.

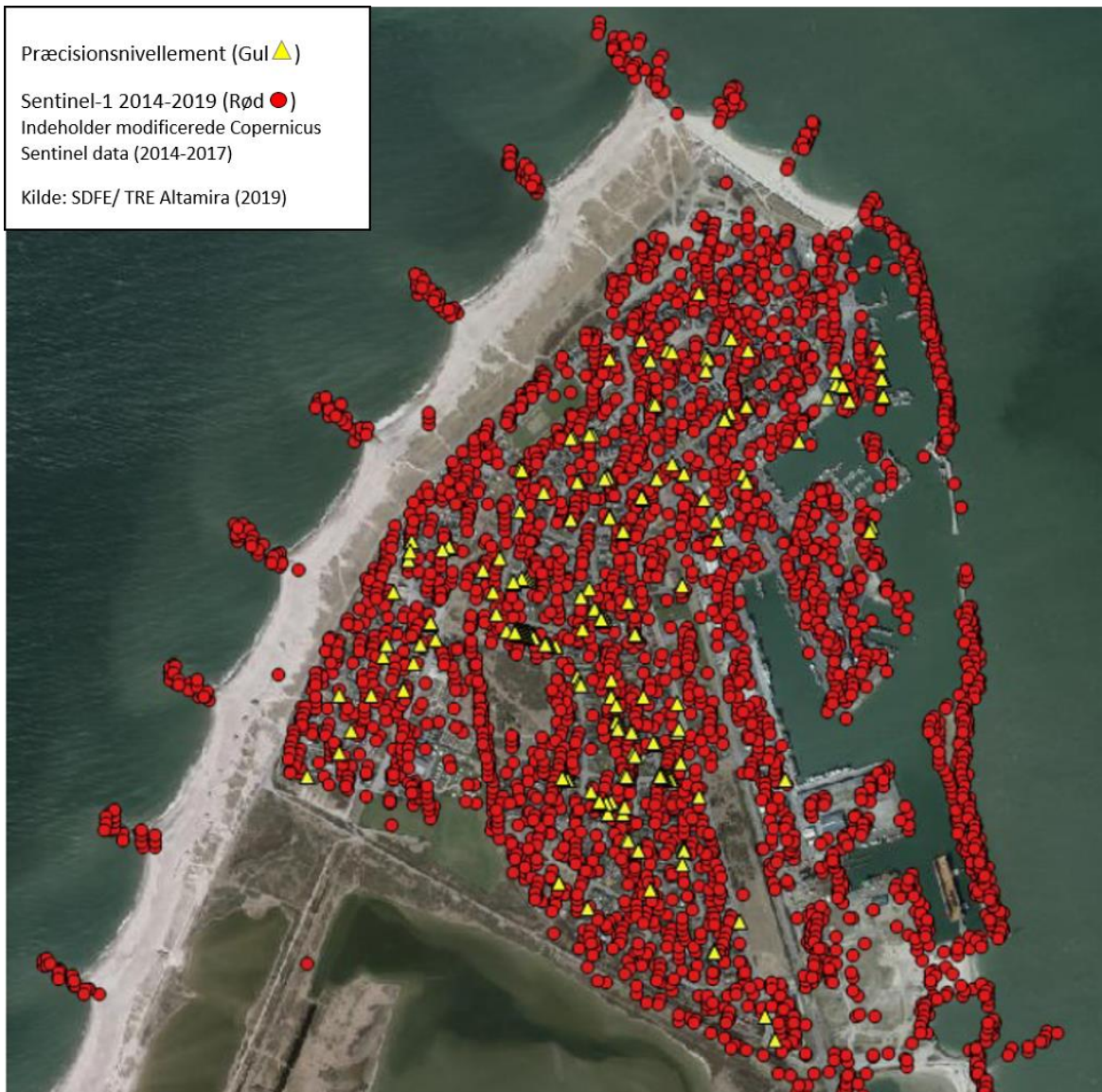
5.3.2 Fra satellitdata til relevant information i ledningsnettet

Da Danmark overflyves af Sentinel satellitterne således at der er nye data tilgængeligt ca. hver 6.dag, kan disse samles i tidsserier, hvor generelle såvel som målepunkt-specifikke terrænændringer kan ses direkte i satellitdata fra Thyborøn. Figur 5 viser et eksempel på, hvordan fire forskellige punkter i Thyborøn har udviklet sig i perioden fra juli 2016 til januar 2019. Der ses relativt store lokale terrænændringer i de fire illustrerede punkter. For forsyningen kan der være interesse i specifikke punkter i et område, for eksempel en samlebrønde, ledningsstrækninger eller pumpestation, eller i mere generel viden om hele områdets potentielle terrænændringer.



Figur 5 Eksempel på tidsserier af gentagne målinger for satellitpunkter i Thyborøn fra Juli 2016- Jan 2019. Der er udvalgt fire forskellige punkter på kortet til venstre, tidsserierne for disse punkter er vist i grafen til højre (SDFE/TRE Altamira, 2020).

Figur 5 og figur 6 viser tilgængelige satellitpunktmålinger fra Thyborøn, ca. 7000 punkter.



Figur 6 Eksempel fra Thyborøn for eksisterende præcisionsnivellementer udført i perioden 1954 – 2015) (vist med gul, indeholder ca. 70 punkter) sammen med punktmålinger fra Sentinel-1 fra perioden 2014 – 2019 (vist med rødt, indeholder ca. 7000 punkter) (SDFE, 2020).

Lokalkendskab er nødvendigt for at oversætte disse præcise satellit observationer til det lokale område. Typisk er der i lokalområdet tidligere lavet tekniske nivellementer. Disse kan bruges til sammenligning/ kontrol af data fra satellitterne. I projektet er der i Thyborøn arbejdet meget grundigt med netop dette.

Forud for projektet havde LVS (m.fl.) gennem flere år registreret sætninger i Thyborøn kommune, SDFE og LVS ved hjælp af præcisionsnivellementer. Figur 6 viser målepunkt-tætheden for hhv. præcisionsnivellementer og satellitdata for Thyborøn.

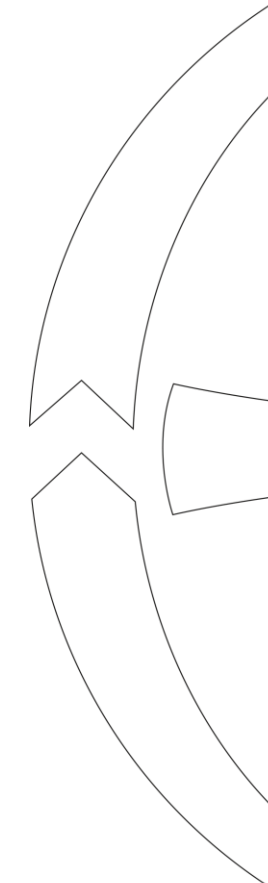
5.3.3 Tolkede data for projektområdet

Beregningerne for landbevægelserne i området kan bruges til analyser af bevægelseshastigheder i specifikke punkter. På baggrund af disse kan der udarbejdes interpolerede kort over ændringer i terræn for et givent område. Således oversættes satellitmålingerne i specifikke punkter til gennemsnitlige terrænændringer for de enkelte kloakbrønde og dermed til hele ledningsnettet.

Registreringer af terrænsætninger er fortsat sideløbende med projektet og der er gennemført detaljerede opmålinger af overfladen og ledningsnettet i Thyborøn. LVS har i samarbejde med ekstern konsulent (GeoPartner) foretaget oversættelse og validering af konkrete satellitdatamålinger og præcisionsopmålinger af ledningsnettet til beregninger af terrænændringerne over tid.

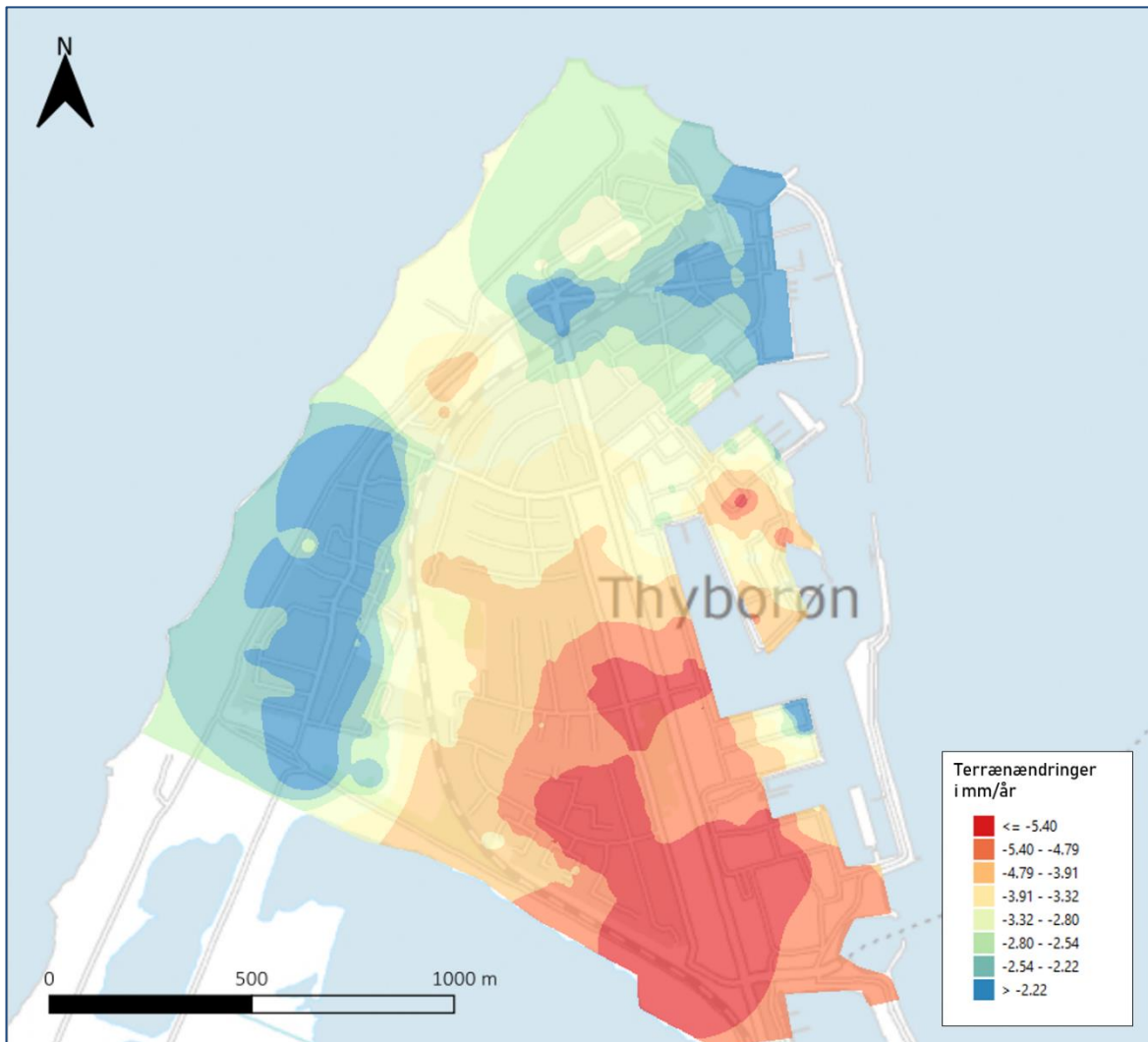
På baggrund af disse beregninger er der udarbejdet et fladekort over hele projektområdet, der giver et oversigt billede af hvilke dele af området, der sætter sig med hvilke hastigheder, se figur 9.

Oversigtskortet bekræfter kendskabet til at dele om Thyborøn sætter sig med mere en 7mm/året. I figur 9 er områder, der sætter sig mere end 5,4 mm/året vist med rødt. Tilsvarende ses der områder mod vest og nordøst, der udviser sætningshastigheder for terrænet på mindre end 2 mm/året, vist i blå.





Figur 7 Validerede datapunkter i og omkring ledningsnetværket i Thyborøn, hvori der eksisterer beregnede terrænændringer baseret på satellitdata. Terrænændringerne er beregnet i mm/år.



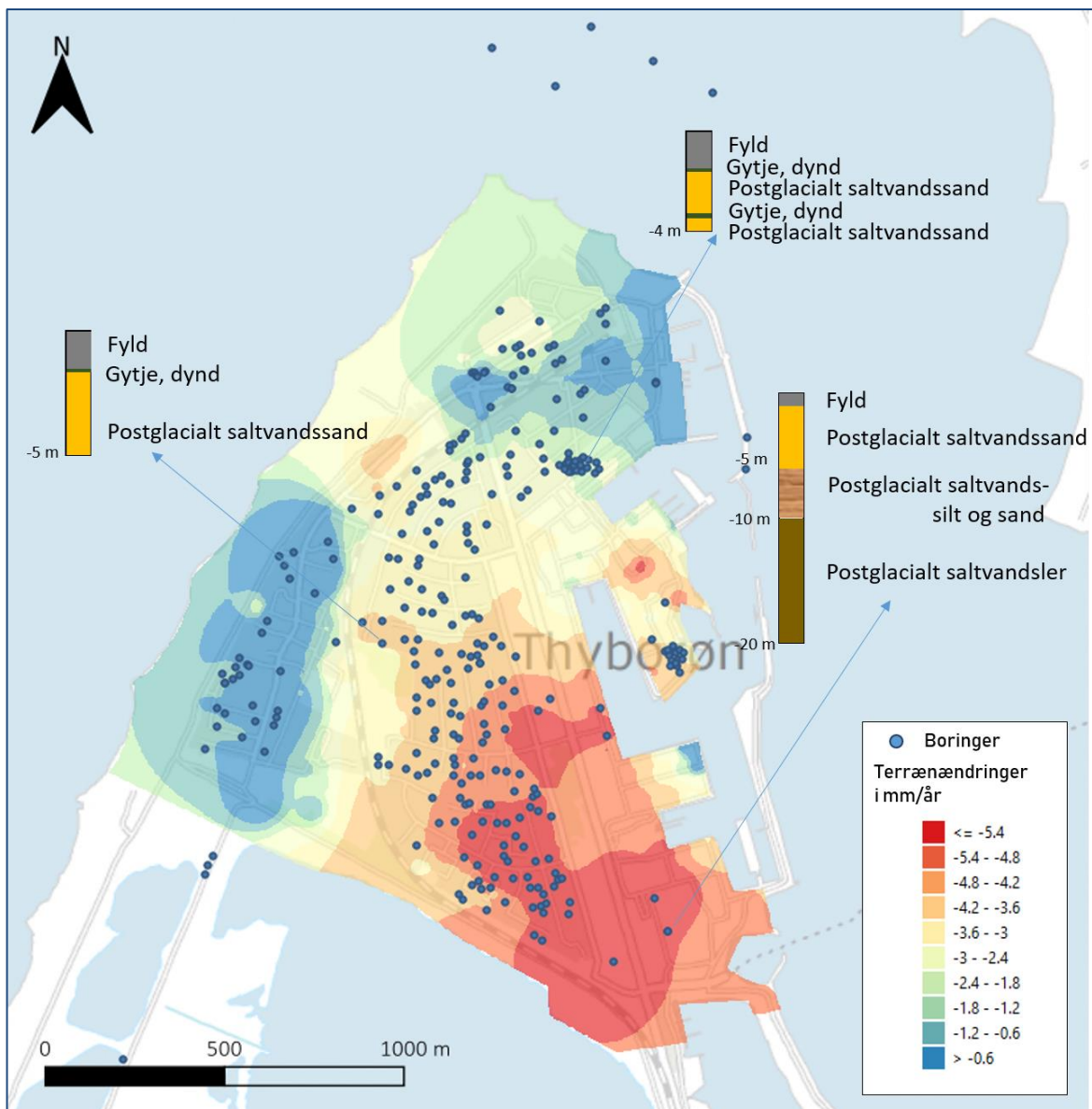
Figur 8 Beregnede terrænændringer for Thyborøn udarbejdet som et fladekort for hele projektområdet. Kartet giver et oversigtsbillede af, hvordan de lokale landbevægelserne er i hele området vist i mm/år.

5.3.4 Vurdering af terrænændringer i projektområdet

Boringer i Thyborøn by er undersøgt for at vurdere om aflejringer kan forklare sætningerne. Overordnet ses de øverste 5 til 10 m at bestå af 1-2 m fyld som overligger 5-10 m postglaciale aflejringer i form af postglaciale saltvandssand med spredte tyndere organiske lag af gytje. På baggrund af boringer ses generelt et fyldlag under bebyggelser på min 1,5 m. Der kan forventes nogen grad af sætning i fyldlag, hvis der ikke er sket en tilstrækkelig komprimering forud for bebyggelsen. Fyldlagenes tykkelse skal dog være væsentlig større end 1 - 2 m for at kunne forklare de observerede terrænsætninger over 5,4 mm om året. Men at fyldlagene bidrager til terrænsætninger syntes tydeligt idet at der flere steder på havneområderne er sammenfald med store lagtykkelser af fyld og høje sætningsrater.

Der er højtstående grundvand i hele området. Grundvandsstanden ligger flere steder over kote 0 og op til kote + 2 m, således at de intakte postglaciale aflejringer er under grundvandspejlet. Desuden ses væsentlige lagtykkelser af postglaciale aflejringer, primært saltvandssand, i hele projektområdet, figur 9.

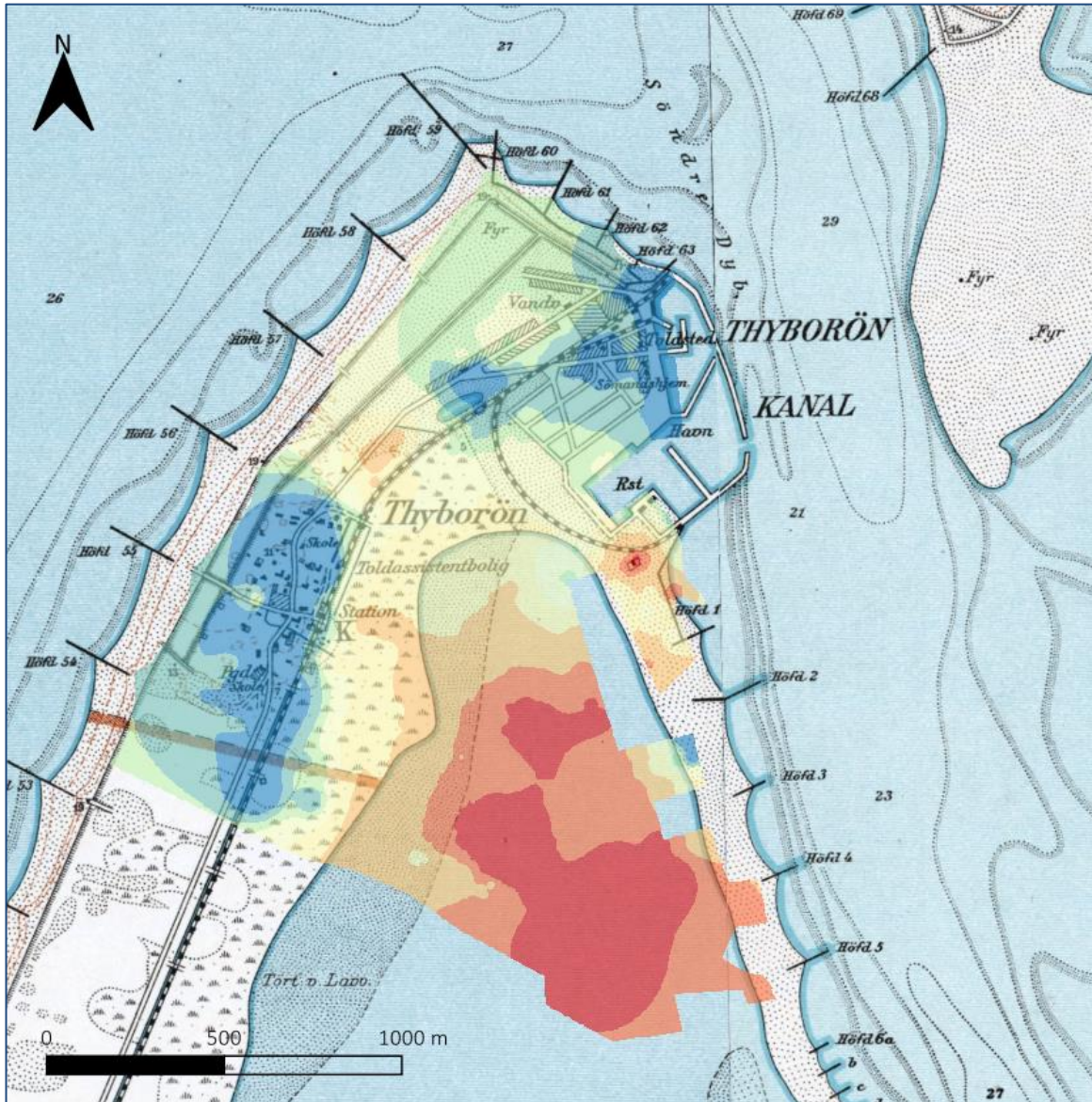
Da de postglaciale aflejringer ikke er blevet kompakteret under istidsisen, kan der forventes en vis sætning i disse lag, og da lagtykkelser nogle steder i området er over 10 m kan denne geologiske kompaktering være medvirkende til de observerede terrænændringer.



Figur 9 Geologisk informationer fra borer i Thyborøn, viser væsentlige lagtykkelser af postglaciale aflejringer i projektområdet.

Sammenlignes terrænændringerne med den historiske udvikling i området (se figur 10-11), fremgår områder med de mindste sænkingsrater sammenfaldende med de områder, hvorpå der gennem længst tid har været bebyggelse. Figur 10 viser hvordan områder med

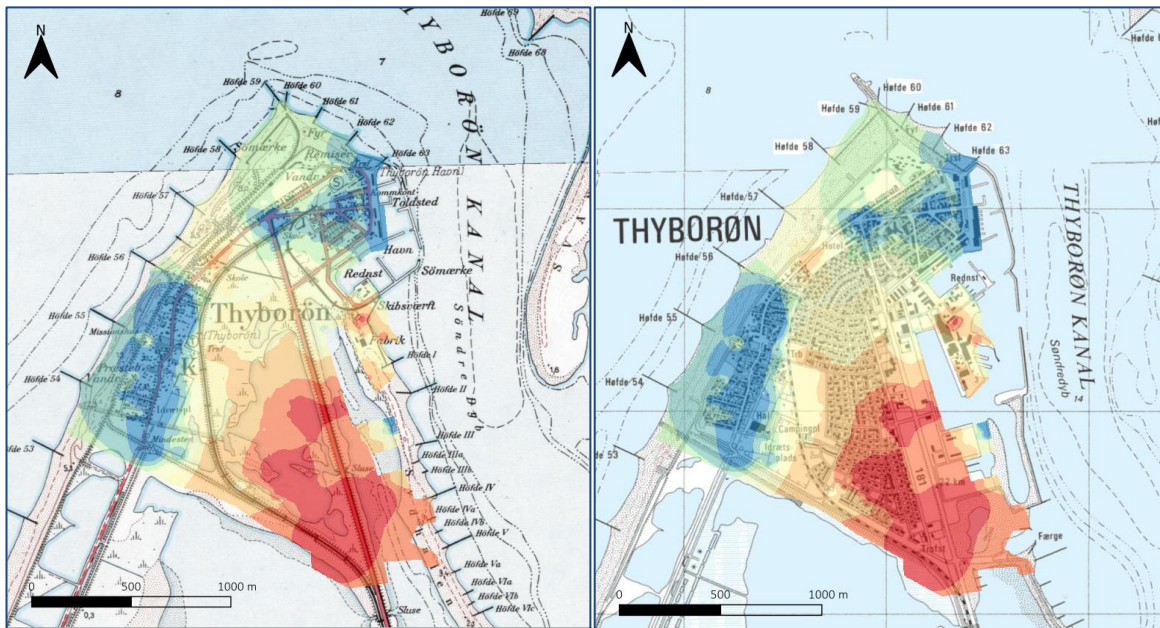
terrænsænkninger på under 0,6mm/året primært findes mod vest, hvor den byens bebyggelse befandt sig på daværende tidspunkt, samt i området mod nord-øst, hvor havneanvendelsen af området var. Der ses også tydeligt at den centrale del af området på det tidspunkt var vand.



Figur 10 Historisk kort over Thyborøn sammenholdt med fladekortet over terræændringer. Baggrundskortet er fra dengang jernbanen forbandt byområdet mod vest og havneområdet mod nordøst (starten af 1900-tallet). Baggrundskort "lave målebordsblade 1901-1971".

På samme måde kan andre historiske kort sammenlignes med kortet med terræændringer og figur 11 viser, hvordan den centrale del af området stadig i 1950'erne var vand, dog inddæmmed af vejen mod øst. Først i starten af 1980'erne var det centrale område blevet fyldt op og udnyttet til beboelse.

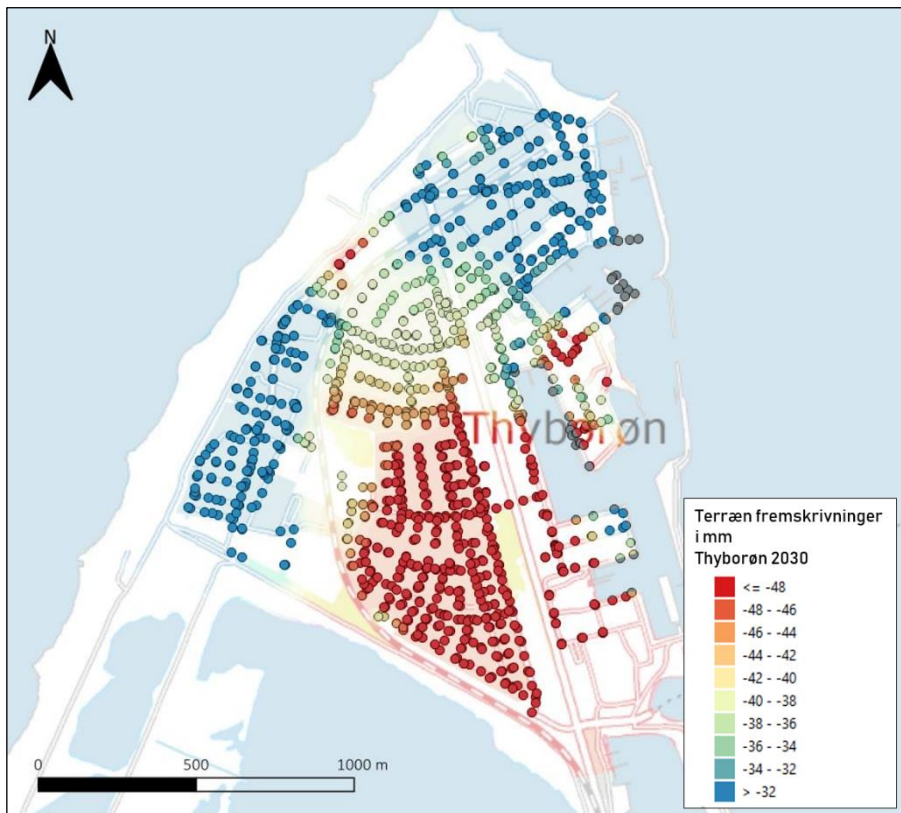
Det er i den sydlige del af dette inddæmmede og siden opfyldte område at der registreres de største terrænsænkninger på op til 7mm/året.



Figur 11 Historiske kort over Thyborøn sammenholdt med fladekortet over terrænændringer. Baggrundskortet til venstre er fra starten af 1950'erne, hvor vejen, der inddæmmer det centrale projektområde, er opført. Baggrundskortet til højre fra omkring 1980, hvor hele projektområdet er udbygget med beboelse. Baggrundskort: TV: Målebordsblad DKT/4cm 1953 TH: DKT/4cm 1980-2001.

Der er gennem tiden i LVS også foretaget overvågning af kloaknettet ved blandt andet at registrere positionen af bundene på udvalgte kloakbrønde. Således er der dokumentation for at brønde i den sydlige centrale del af området har sat sig med op til 40cm fra 1980/1990 til 2012, hvorimod kloakbrønde i det nordøstlige område har vist sætninger på 5-10cm i samme periode (Carlo Sorensen, 2016).

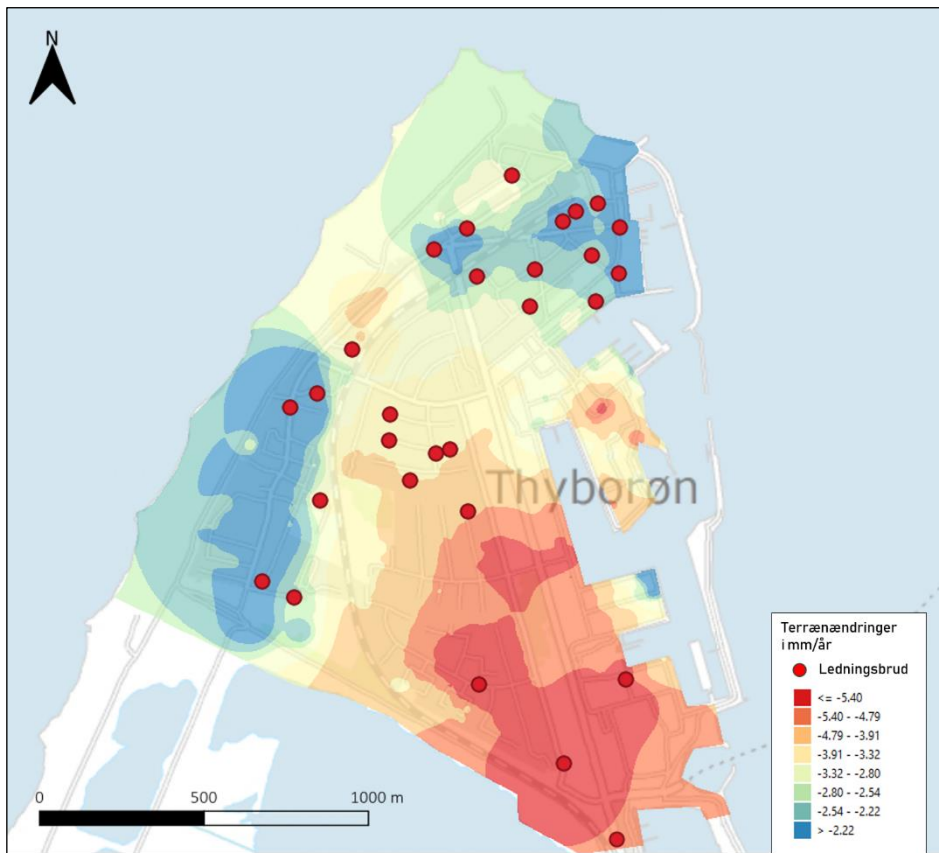
På basis af satellitdata beregningerne for terrænændringer i Thyborøn er der foretaget fremskrivning af terrænsætningerne i ledningsnettet. I denne fremskrivning er der anvendt en lineær fremskrivning, således at de observerede sætningshastigheder antages at fortsætte fremadrettet. I overensstemmelse med observationerne af kloakbrøndes top og bund fra 1980/1990 til 2012 er der antaget at sætningerne i ledningsnettet foregår parallelt til ændringer i terræn. Figur 12 herunder viser at der i store områder af Thyborøn allerede i år 2030 forventes sætninger på mere end 48cm i forhold til 2019. Det er disse fremskrivninger er anvendt i de hydrauliske beregninger.



Figur 12 Terrænfremskrivninger anvendt på Thyborøn, kortet viser at der i de sydlige dele af byen vil ske en terrænændring på mere end 48cm fra 2019 til 2030.

5.3.5 Terrænsætninger og ledningsbrug

Der er i projektet indsamlet information om ledningsbrud i Thyborøn og disse er herunder sammenholdt med de beregnede lokale terrænsætninger, se figur 9.



Figur 13 Oversigtskort, hvor registrerede ledningsbrud sammenlignes med terrænændringer for området.

Ved øget opmærksomhed på indflydelsen fra de lokale terrænsætninger på tilfælde af ledningsbrud er forsyningen nu bevidst om at nogle brud primært skyldes lokale terrænsætninger frem for ringe entreprenørarbejde i forbindelse med etableringen af ledningsstykket. Oversigtskortet viser at flere tidligere registrerede ledningsbrud ligger på strækninger, hvor der er variationer i de lokale terrænændringer og der dermed vil opstå større materialestress.

Der er derfor fremadrettet fokus på at materialevalg til rør netop på strækninger, der indeholder variationer i hastigheden hvormed terrænet ændrer sig. I forlængelse af fokus på materialevalg, arbejdes der i LVS på alternative mere fleksible materialer til rørføringer i specielt udsatte områder.

Ud over fokus på selve materiale valget har det øgede datagrundlag for terrænændringer ligeledes muliggjort bedre beslutningsgrundlag i forhold til akut opståede ledningsbrud. Idet der er væsentlig økonomiske gevinster ved at reparere specifikke ledningsbrud frem for at udskifte hele ledningsstrækningen, indgår beregningerne for de lokale terrænsætningshastigheder nu i beslutningsværktøjet for håndtering af ledningsbrud.

5.4 Terrænændringer og hydraulisk modellering

5.4.1 Modelopbygning

Arbejdet med at implementere denne viden samt de omsatte satellitobservationer i den eksisterende hydrauliske model, der anvendes for ledningsnettet i Thyborøn er beskrevet herunder. Formålet med denne sammenkobling er at anvende viden om de dynamiske terrænforhold til en analyse af ledningernes evne til at transportere vand i området både i dag og i fremtiden. Analyserne er foretaget i MIKE URBAN.

Generelle forudsætninger

Til beregningen af konsekvenser for regnvandsledninger er der taget udgangspunkt i CDS-regn. De benyttede CDS-regn er genereret ved hjælp af spildevandskomiteens regneark vers. 4.1 (Spildevandskomiteen, 2016) med følgende input:

- Regn varighed: 120 min
- Tidsskridt: 1 min
- Gentagelsesperiode: 1 og 5 år
- Sikkerhedsfaktor: 1
- Asymmetri koefficient: 0,5

Sikkerhedsfaktoren for den dimensionsgivende regn er efter retningslinjerne foreskrevet i kommunens spildevandsplan. Dette giver en dimensionsgivende regn med gentagelsesperiode på 5 år og sikkerhedsfaktor på 1.

I modellen er følgende forudsætninger benyttet:

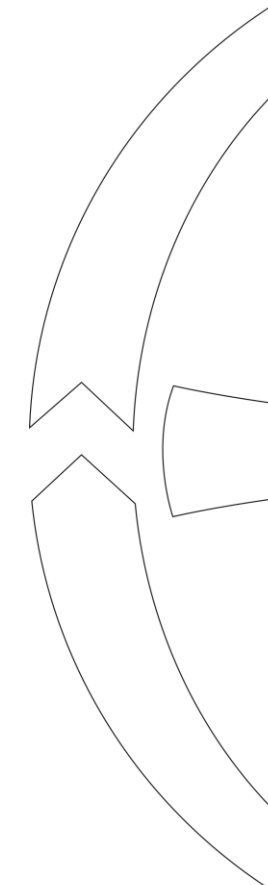
- Hydrologisk reduktionsfaktor: 0,9
- Initialtab: 0,6 mm
- Koncentrationstid: 0 – 26 min

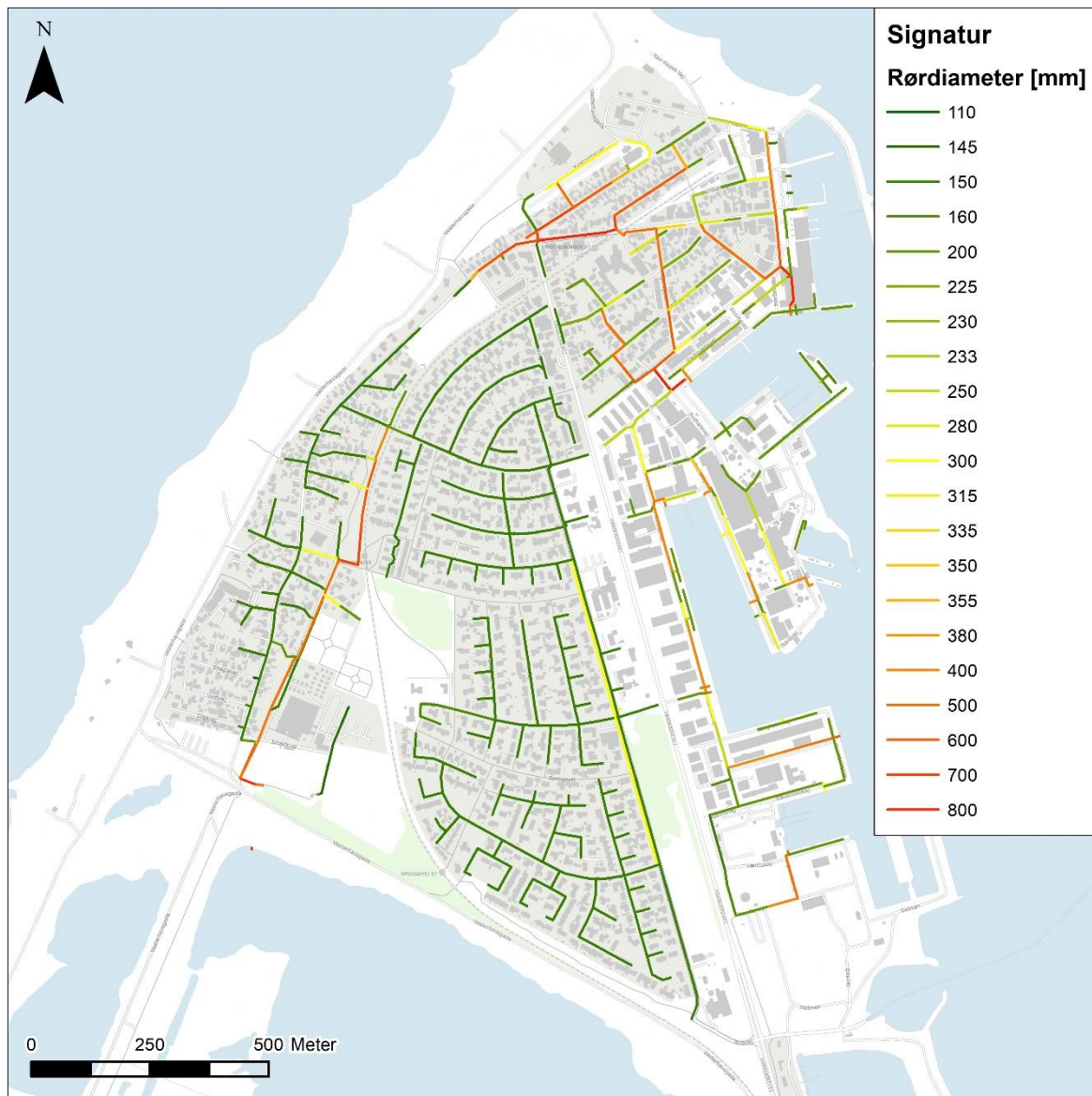
Oplande er genereret ud fra matrikelkort og derefter tilknyttet nærmeste brønd (Der har været enkelte manuelle tilretninger af tilknyttet brønd).

Fysiske forudsætninger

Fysiske forudsætninger for den hydrauliske model i regnvandsledningerne baseres på to udtræk fra ledningsnetdatabasen DANDAS i augsut 2019 som Rambøll af LVS. Nedenstående fremgår rørdiameter og bund af brøndene.

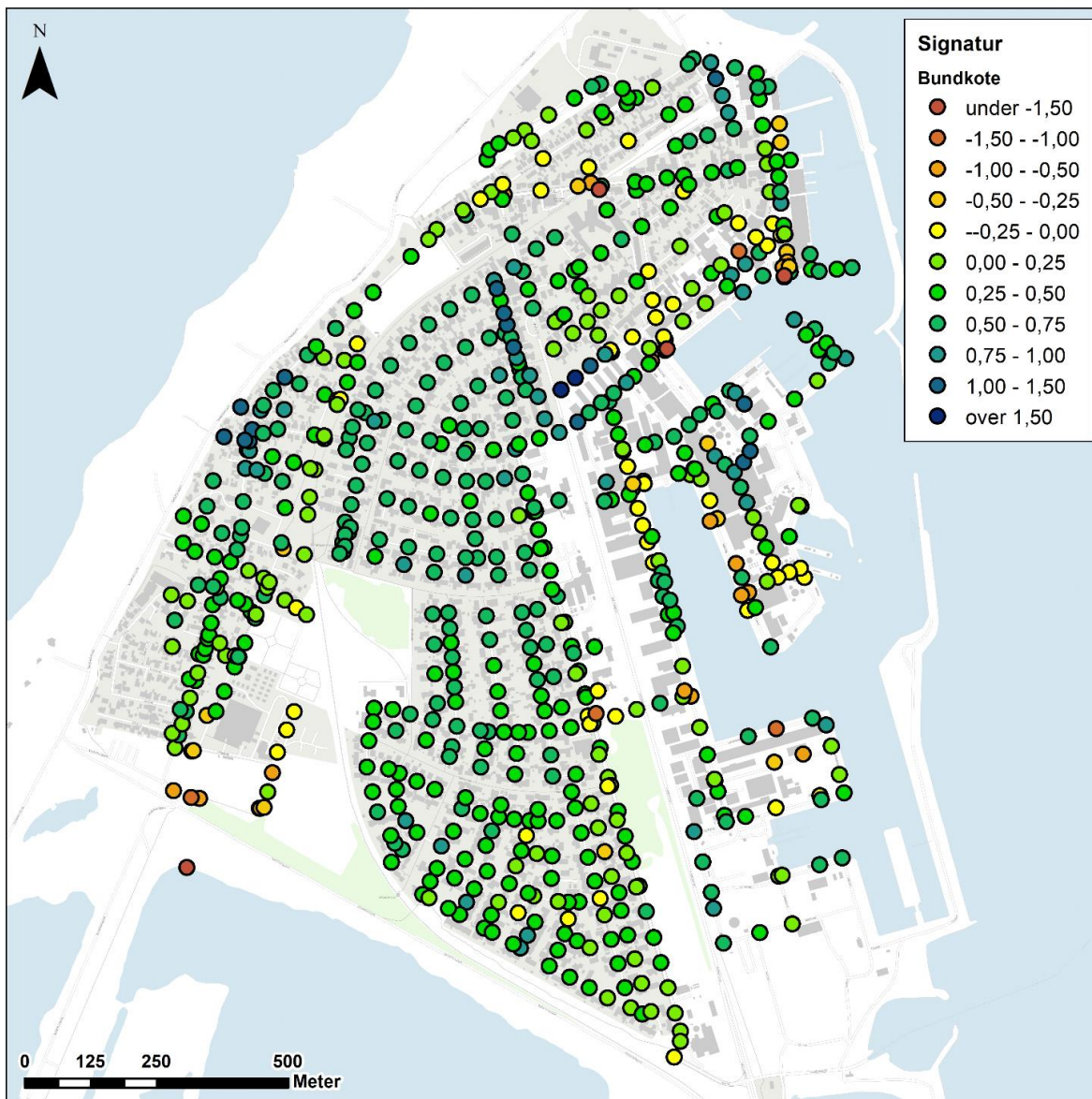
Som det ses på figuren nedenfor, er rørdimensionerne i det udsatte område små – de fleste er Ø150 rør, hvor i det nordøstligste område er der benyttet større dimensioner der bedre kan lede vandet væk. Mange af rørene og brøndene i det centrale område er desuden udformet som drænrør der er vanskelige at simulere korrekt i en model.





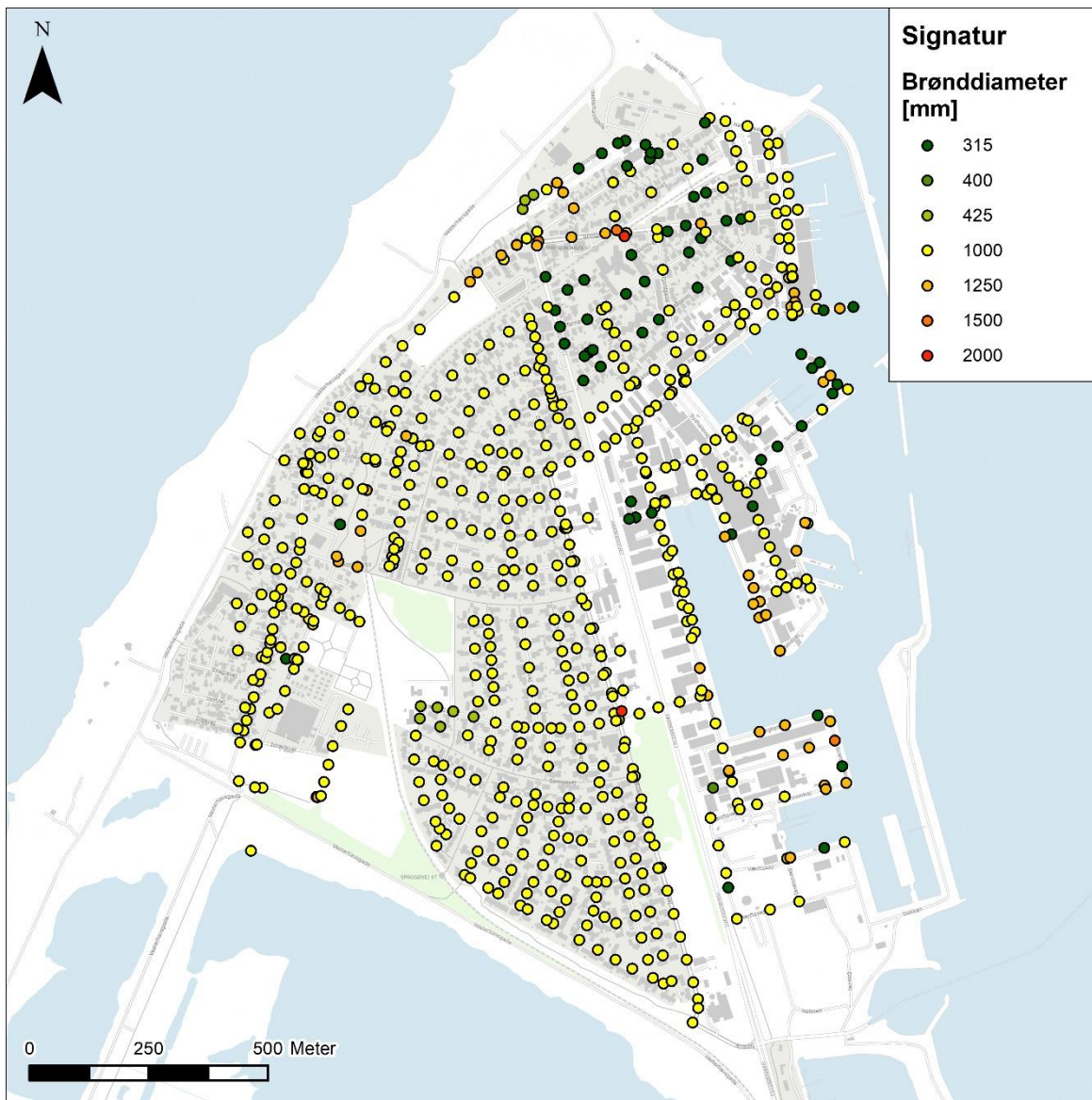
Figur 14 Rørdimensionerne i det analyserede ledningsnet i Thyborøn.

Som det ses på figur 15, findes brøndenes bund i en kote mellem -1,5 og + 1,5 m. Grundvandsstanden i området ligger omkring kote 0 og op til kote + 2 m, dermed er dele af ledningsnettets brønde eller ledninger helt eller delvis under vand året rundt. Dette vanskeliggør en effektiv vandtransport, når store dele af ledningsnettets består af drænrør.



Figur 15 Koter for bunden af brøndene i det analyserede ledningsnet i Thyborøn.

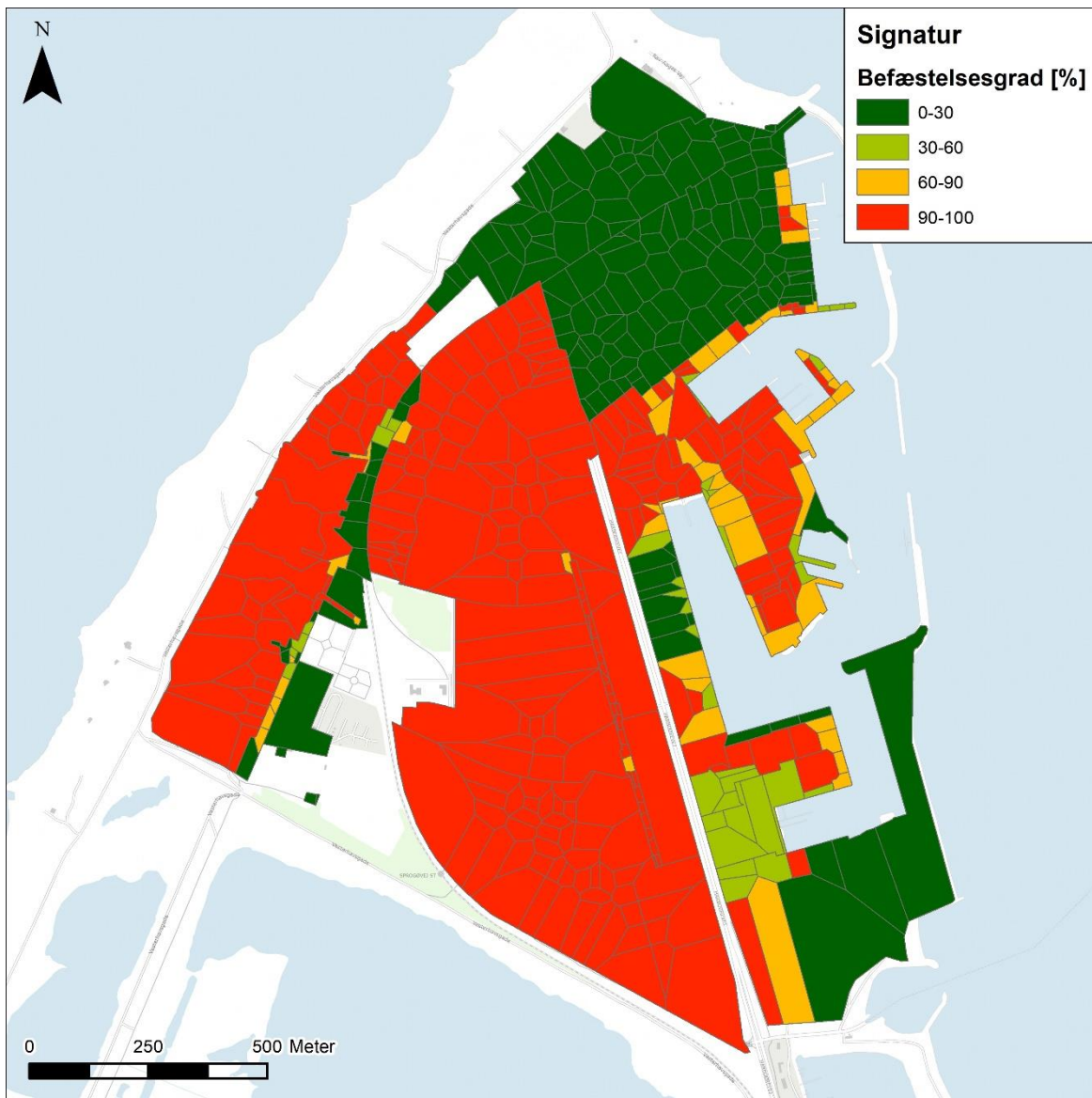
Som det ses på figur 16 nedenfor er den mest benyttede brønddiameter 1000mm, og de mindste brønde er beliggende i det nordøstligste område, der håndterer regn-hændelserne bedst – det er altså ikke brønddiameterne, der er giver problemerne i det centrale model-område.



Figur 16 Brønddiameter for brøndene i det analyserede ledningsnet i Thyborøn.

Befæstelserne i modellen er blevet genanvendt fra den eksisterende hydrauliske model.

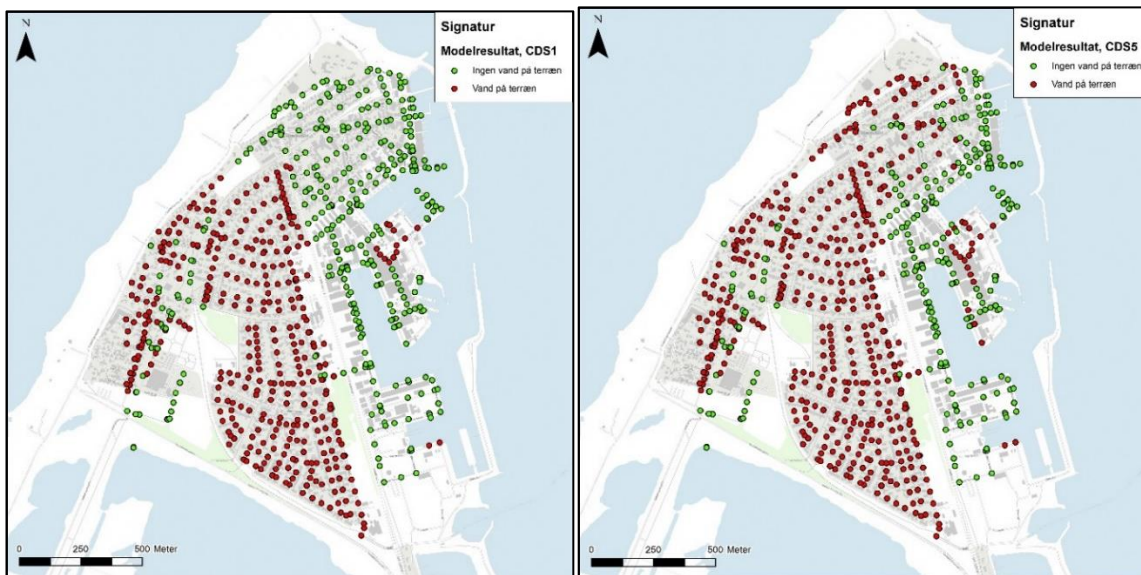
Figuren nedenfor, figur 17, viser befæstelsesgraderne for modelområdet. Her ses det tydeligt, at det nordøstligste område har en lav befæstelsesgrad, mens resten af modellen har en høj befæstelsesgrad. Den høje befæstelsesgrad skyldes, at der i de områder er drænelledninger, så før eller siden vil alt vandet nå drænelledningerne, men tiden der går er sat til 0 - 26 minutter (time of concentration). I realiteten vil langt den største del af regnvandet ende i drænsystemet efter 26 minutter.



Figur 17 Anvendte befæstelsesgrader for det analyserede område i Thyborøn.

Befæstelser er 100 % – i store dele af området. Den reelle befæstelse er ikke 100%, men det betyder, at der sker nedsvivning i jorden på matriklen. Vandet løber efterfølgende til regnvandsledningen, som i virkeligheden er drænledninger. Det betyder, at alt vand havner i røret, dog ikke med 26 minutters forsinkelse som angivet i den oprindelige model, men efter timer eller dage. Derfor har vi i områder med drænrør ændret befæstelsen fra 100 til 0. Drænene vil ikke fungere som almindelige dræn, da drænene konstant er under vand. Dræningen, dvs. sænkningen i rørene, sker ved udpumpningen fra en pumpestation bl.a. ved Ærøvej.

Ud fra den eksisterende model er der simuleret en 1- og en 5 års CDS regn-hændelse. Resultatet af regn-hændelserne ses af figur 18.



Figur 18 Resultaterne af hhv. CDS1 og CDS5 regn-hændelser for det analyserede område i Thyborøn. Resultaterne er vist som flooding; dvs. områder med vand på terrænet er markeret med røde punkter og de grønne punkter angiver, hvor der ikke forventes vand på terrænet i de to scenarier.

Som det ses, er store dele af det centrale område oversvømmet ved både en 1- og en 5 års hændelse. Det nordøstligste område er det område, der håndterer begge regn-hændelser bedst – dog stadig med vand på terrænet ved en 5 års hændelse.

Modellen er gennemgået for at undersøge, hvad der forårsager oversvømmelserne i det centrale område. I modellen er området defineret med forholdsvis små ledninger, mens befæstelsen i området i modellen er sat til 100% med en forsinkelse på 7 minutter.

Efter samtaler med LVS er størrelsen af ledningerne korrekte. Befæstelsen på 100% er valgt, fordi alt regnvand fra parceller nedsiver på grunden og da regnvandsledninger er drænrør, vil alt regnvand ende i regnvandsledningen. Transporten af vandet vil tage dage, før det når til ledningen og derfor vil befæstelsen til denne modelkørsel være 0 fra parcellerne. Den eneste areal, som afledes direkte til regnvandsledningen er vejarealet.

Derudover besværes nedsivningen af grundvandsstanden. Grundvandsstanden ligger over kote 0 og op til kote + 2 m. Dermed er drænledninger i store dele af modelområdet altid vandfyldte. Vandstanden i regnvandsledningen bliver reguleret i pumpestationen ved Ærøvej/Drejøvej.

Modellen antyder, at store dele af området konstant har vand i ledninger. Ved større regnskyl vil der ikke være kapacitet til at fjerne regnvandet og der kommer vand på terrænet. LVS bekræfter, at der ofte er vand i den sydlige del af Ærøvej efter et større regnskyl.

5.4.2 Hydraulisk modellering og terrænændringer

Formålet med Thyborøn-modellen er at bestemme sænkningernes indflydelse på strømmingen i områdets regnvandsledninger. Terrænændringerne vist i figur 8 sker ikke ens i hele området det der denne variation, der skal integreres i den hydrauliske model for området.

Datagrundlaget fra satellitmålingerne anvendt i de hydrauliske modeller baserer sig på en periode på 1½ år fra 2017-2019 og det antages at de beregnede sænkingsrater kan fremskrives lineært for området. Der er i modelleringsarbejdet arbejdet med fremskrivninger op til 75år, og den lineære fremskrivning af terrænsænkningen er anvendt for hele perioden.

Det er de stedspecifikke sænkingsraterne, vist i eksempel i figur 7, der er omsat direkte til de eksisterende brønde i hele området ved hjælp af et FME-program, via brøndene omsættes disse ligeledes til ledningerne. Som udgangspunkt antages det, at terrænsænkningen forplanter sig lineært til bunden af brønden. Dvs. at en sænkning på 1 cm på terræn svarer til 1 cm i bund af boringen, hvilket også er bekræftet gennem observationerne fra kloakbrønde fra 1980/1990 – 2012 (Carlo Sorensen, 2016).

På den baggrund er der foretaget beregninger for status i ledningsnettet og for terrænsænkninger efter 10, 20, 50 og 75 år.

Store dele af regnvandsledningerne er drænrør og transporten i ledninger er derfor styret af udefrakommende påvirkninger. Det vil derfor være svært at skelne mellem påvirkningerne fra sænkningerne eller ændringerne i grundvandsstanden.

I den nordøstlige del af Thyborøn er der ingen drænrør og ledningernes størrelse passer til de forventede regnvandsmængder, er det valgt udelukkende at kigge på dette område for at se på påvirkningerne fra sænkninger. Derudover er denne del af modellen heller ikke forbundet med den øvrige del af modellen.

I efterfølgende ses der udelukkende på resultater for det nordøstlige område af Thyborøn. Til beregningen anvendes en CDS 1 regn-hændelse.

I perioden på 75 år har ændringen været i gennemsnit ca. 10 cm. Enkelte steder er der dog målt ændringer på ca. 20 cm. Af Figur 199, Figur 2020 og Figur 21 fremgår rørenes fyldningsgrad for hhv. den nuværende situationen, fremskrivningen med 20 år og efter 75 år.



Figur 19 Det analyserede ledningsnets fyldningsgrad i forbindelse med en et-års regnhændelse (CDS1) i ledningsnettets nuværende situation.



Figur 20 Det analyserede ledningsnets fyldningsgrad i forbindelse med en et-års regnhændelse (CDS1) i ledningsnettet med 20 års fremskrivning af terrænsænkningerne.

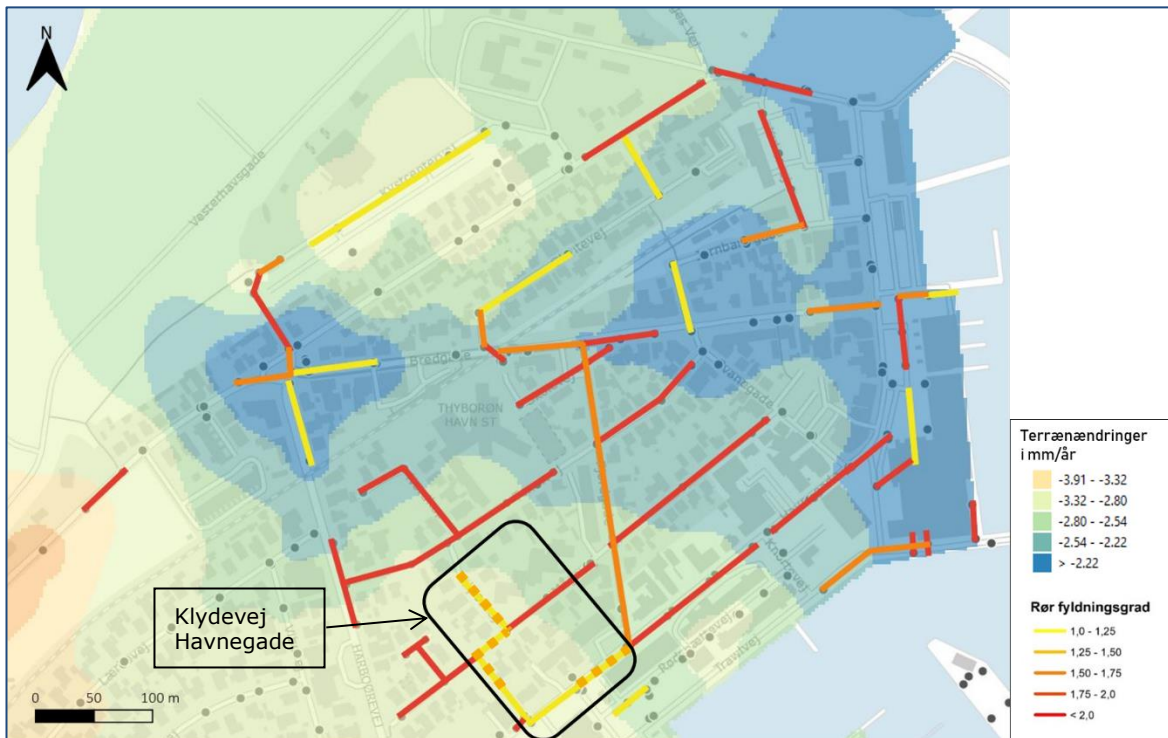


Figur 21 Det analyserede ledningsnets fyldningsgrad i forbindelse med en et-års regn-hændelse (CDS1) i ledningsnettet med 75 års fremskrivning af terrænsænkningerne.

5.4.3 Vurdering af hydraulisk modellering med terrænændringer

Sammenkoblingen af terrænændringer med den hydrauliske model for regnvandsledningerne er sket i den nordøstlige del af Thyborøn, hvor det eksisterende ledningsnet bedst håndterer nuværende 1- og 5-års regn-hændelser (se figur 18). Satellitdata har angivet terrænændringer i dette område på 2-3 mm/året.

Der ses ikke de helt store ændringer for ledningsnettets evne til at transportere regnvandet i den nuværende situation, situationen efter 20 år og situationen efter 75 år (figur 19, 20 og 21). Enkelte steder (Ved Klydevej og Havnegade) bliver fyldningsgraden større, hvilket er sammenfaldende med et område, der udsættes for terrænændringer på omkring 3 mm/år (se figur 22). Samme terrænændringsrate ses også i den nordlige del af modelområdet, her ses ingen påvirkning af ledningernes hydrauliske funktion som funktion af terrænsætningerne.



Figur 22 Området for den hydrauliske model, der viser terrænændringerne fra satellitberegningerne samt resultaterne af de dynamiske fremskrivninger i ledningsnettets fyldningsgrad.

Årsagen til de små ændringer må søges i, at den målte sænkning samt at den fremskrevne ændring i brøndenes bund sker forholdsvis ens i større områder i modellen. Dvs. at store dele af ledningsnettet synker med samme rate, som resulterer i, en generel sænkning af ledningsnettet, der ikke væsentlig påvirker den hydrauliske funktion. For modelområdet i det nordøstlige hjørne af Thyborøn er der ikke fundet særlige risikostrækninger, hvor der er risiko for funktionsnedsættelse i ledningsnettet så som lunger eller tilbageløb, til trods for at der sker terrænændringer på 10-20cm.

Sammenlignes de dynamiske hydrauliske modelberegninger for fremtidsscenerierne (figur 20 og 21) med de områder, der allerede i dag har risiko for vand på terræn (figur 18), vil det være de samme områder, der risikerer vand på terræn ved større vandmængder end CDS1 regn.

Ved at ledningsnettet i det store og hele sætter sig samlet, vil transporten i ledningerne kun påvirkes minimalt. Idet vi har fastholdt vandstanden i havet, vil den største årsag til tilbagestuvning skyldes vandstaden i havet.

Hermed kan den dynamiske hydrauliske model også indgå som led i beslutningsprocessen i forbindelse med investeringsplanlægninger for hhv. reparationer og fornyelser inden for modelområdet.

6 Konklusion

Der er i løbet af projektet skabt et grundigt digitalt fundament for at følge terræudviklingen ved hjælp af satellitdata samt at anvende disse i ledningsregistreringen for Thyborøn.

Der er ikke tidligere arbejdet med at koble satellitdata med hydraulisk modellering. Det, at arbejde med dynamisk hydraulisk modellering i forhold til at koterne i ledningsnetværket løbende ændres, er derfor en ny disciplin. Projektet har afprøvet denne nye disciplin i det tværfaglige partnerskab og demonstreret, hvilke ny anvendelsesmuligheder dette kan give forsyningsselskabet i områder, hvor der sker løbende og lokale ændringer i terræn.

Metoden der er anvendt i dette modelområde kan umiddelbart overføres til andre områder og forsyningsselskaber, der oplever terrænændringer i hele eller dele af deres ledningsnet. Omfanget af supplerende nivellementer, der er nødvendige i et givent projektområde vil afhænge af, hvilket datagrundlag, der i forvejen er samlet i forsyningsselskabet samt data tæthed og præcision der er tilgængelig fra satellitdata.

Projektet bidrager dermed til at udvide horisonten for, hvilke data, der kan være inputdata til hydraulisk modellering. Desuden demonstrerer projektet hvorledes anvendelsen af satellitdata og deraf dynamiske hydrauliske modeller kan forbedre det datagrundlag, der indgår i investeringsstrategier og dermed som et vigtigt ledelsesværktøj for landets vandsekskaber. Der arbejdes videre med metoden og relaterede anvendelser af satellitdata i forskellige nye ideer og projekter i regi af Klimatorium i Lemvig.

7 Referencer

- Carlo Sorensen, N. H. (2016, May). Assessing Future Flood Hazards for Adaptation Planning in a Northern European Coastal Community. *Frontiers in Marine Science Coastal Ocean Processes*, pp. 1-24.
- Konkurrence og Forbrugerstyrelsen. (2018). *Total Økonomisk Benchmark 2018*. Konkurrence og Forbrugerstyrelsen.
- PWC. (2017). *Behovsanalyse af tværoffentlig infrastruktur for satellitdata*. Styrelsen for Dataforsyning og effektivisering og Danmarks Metrologiske Institut. PricewaterhouseCoopers, pwc.
- SDFE. (2020). *Monitering af infrastruktur og landbevaegelser fra satellit*. Styrelsen for dataforsyning og effektivisering.
- SDFE/TRE Altamira. (Maj 2020). *Tremaps SDFE*. Hentet fra Tremaps: <https://tremaps5.tre-altamira.com/treviewer>
- Spildevandskomiteen. (2016). *Skrift 30, regneark version 4.1*. Spildevandskomiteen.

Bilag 1. Kort vejledning vand- og spildevandsselskaber omkring anvendelsen af satellitdata i forbindelse med ledningsnettet

Baggrund

Mange områder i Danmark er udfordret af lokale terrænændringer på op til flere mm om året. Når der sker terrænændringer bevæger vand- og kloaksystemerne sig også, hvilket kan skabe en række udfordringer for forsyningsselskaberne. Ved lokale terrænændringer er der risiko for at nabobrønde i kloaksystemet ikke ændre sig ens og dermed ændrer på den planlagte hydraulik i ledningsnettet, så vandet ikke længere afledes optimalt, der kan opstå tilbagefald i ledningerne eller ledningsbrud. Derfor er øget viden og præcision vedrørende lokale terrænændringer interessant i forhold til drift og vedligehold af forsyningernes ledningsnet. I nærværende projekt er lokale terrænændringer lokaliseret ved hjælp af satellitmålinger og herfra indarbejdet i forsyningens datagrundlag for ledningsnettet, både i forbindelse med den aktuelle tilstand samt i forbindelse med modelleringer af forskellige fremtidsscenerier.

Resume

Step 1: Find og få adgang til data

- Tilgængelighed af satellit data om terrænændringer

Step 2: Fra tilgængelig satellit data til relevant information

- Data overblik, data analyse og vurdering af behov for supplerende data

Step 3: Beregning af lokale terrænændringer

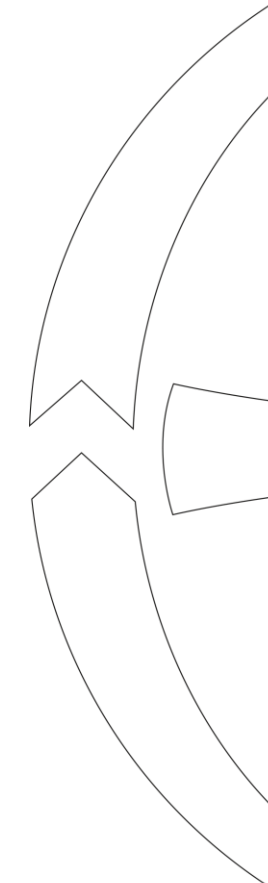
- Beregning af terrænændringer lokalt

Step 4: Overensstemmelse i datapræcision i ledningsnet og satellitinformation

- Præcise nivellementer på udvalgte punkter i projektområde.

Step 5: Lokale terrænændringer anvendes i forskellige værktøjer

- Eksempler på anvendelser inkl. hydraulisk modellering



Uddybende kommentarer til de enkelte vejledningspunkter

Step 1: Find og få adgang til data

I forbindelse med EU-Kommisionens jordobservationsprogram Copernicus er der opsendt to ens satellitter, Sentinel-1A (opsendt i 2014) og Sentinel-1B (opsendt i 2016). Disse satellitter overflyver Danmark systematisk, hvilket betyder at der løbende opsamles radarbilleder af hele Danmark med seks dages mellemrum.

Alle data fra Copernicus-programmet er stillet frit tilgængelige frem til år 2030. Der er derfor store datamængder til rådighed igennem programmet. Der er flere muligheder for at finde disse radar-data, bl.a. Gennem Copernicus-programmets adgangshub: "Copernicus Open Access Hub" (link: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>).

De data, der her er til rådighed er forskellige former for rå-data. For at arbejde videre med disse data skal man have special-kendskab til håndtering og databehandling af disse for at anvende disse data.

Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (SDFE) har indgået aftale om at kunne stille beregninger for landbevægelser baseret på Sentinel-1 data frit til rådighed. Foreløbig aftale frem til slutningen af 2021. De beregninger for landbevægelser SDFE kan stille til rådighed baserer sig på data opsamlet i perioden 2014 – 2019 for hele Danmark, samt en korrektion af data med Global Navigation Satellite System (GNSS)-data, så der i alt er anvendt satellitdata fra 13 spor, hvilket giver data høj opløsning i både tid og rum. Dette giver beregningerne for landbevægelserne nøjagtighed landbevægelser på mm-niveau.



Step 23.1 Eksempel på datagrundlag fra Lemvig by og nærliggende landområder. Her ses tydeligt forskel på datatæthed for bebyggede område kontra land- og naturområder. Farverne på punkterne viser i de grønne nuancer ingen lokal landbevægelse i mm/år, blå punkter har lokal terrænhævning i mm/år og røde punkter har lokal terrænsænkninger i mm/år. (Kilde: SDFE/TRE Altamira, webadgang til data)

Step 2: Fra tilgængelig satellit data til relevant information

Beregninger for landbevægelser, der stilles til rådighed fra SDFE giver et overblik over, hvilke landbevægelsesdata, der er til rådighed i et givent område. Beregningerne består af forskellige datasæt. Arbejdet med disse datasæt, kræver kendskab til hvilke datasæt, der skal anvendes til hvilke typer af analyser i et område. Det vil derfor typisk være nødvendigt for forsyningen af søge assistance af en ekstern konsulent for at omsætte beregningerne for landbevægelser i et område til det bedst mulige grundlag for forsyningen at arbejde videre med.

På baggrund af erfaringerne fra Thyborøn vurderes det at en forsyning af samme størrelse kan forvente en udgift på 20.000-25.000 kr. til bearbejdning af satellitdata af en ekstern konsulent.

Lokalkendskab er nødvendigt for at oversætte disse præcise observationer til det lokale område. Typisk er der i lokalområdet tidligere lavet tekniske nivelemeter. Disse kan bruges til sammenligning/ kontrol af data fra satellitterne.



Step 24.1 Eksempel fra Thyborøn for eksisterende præcisionsnivelemeter udført i perioden 1954 – 2015) (vist med gul, indeholder ca. 70 punkter) sammen med punktmålinger fra Sentinel-1 fra perioden 2014 – 2019 (vist med rødt, indeholder ca. 7000 punkter). (Kilde: SDFE 2020: Monitorering af infrastruktur og landbevægelser fra satellit).

Data og landbevægelsesberegningerne har en rumlig opløsning på 5m x 20m. Der arbejdes oftest med punktmålinger fra dataserierne. I så tilfælde er det et specifikt punkt på jordoverfladen, der har givet den kraftigste refleksion inden for dette måleområde. På grund af den rumlige opløsning på 5 x 20m er det ikke altid muligt umiddelbart at fastlægge, hvilken reflektor der danner baggrund for det anvendte signal. Figuren Step 2.1 viser tilgængelige satellitpunktmålinger fra Thyborøn, ca. 7000 punkter.

Hvorvidt dette datagrundlag er tilstrækkeligt og giver den relevante information for et område vil afhænge af, hvilken præcision og anvendelse forsyningen ønsker at anvende datagrundlaget til. I forbindelse med screeninger af et områdes lokale terrænændringer og øget datagrundlag for et område generelt giver disse data et solidt indblik i områdets lokale landbevægelser.

I Thyborøn har SDFE og LVS opstillet tre specielle hjørnereflektorer, der kan sikre data præcision samt bruges til kalibrering af satellitdata og eksisterende data. Disse kaldes også Compact Active Transponders (CATs) og blev opstillet i 2017, målinger fra disse præcisionsreflektorer kan nu indgå i det samlede datasæt for Thyborøn.



Step 2.2 Hjørnereflektor opsat på et stabilt fundament, kan anvendes som kendt, specifikt reflektorpunkt i et område. Dette kan hjælpe til kalibrering af data, samt øge nøjagtigheden af datagrundlaget for landbevægelsesberegningerne. Foto tv: LVS, Foto th: Benny Gade.

Hvorvidt man har brug for at opsætte præcisionsreflektorer i et projektområde afhænger af:

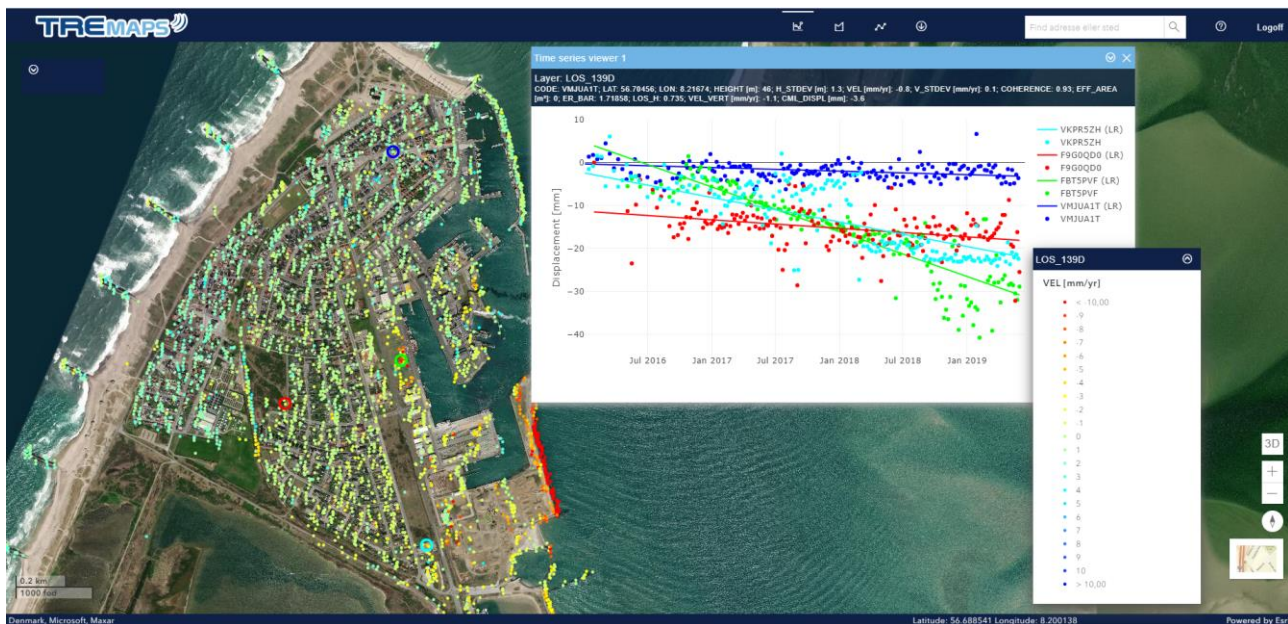
- 1) hvad man vil bruge sine målinger til (nærmere bestemt hvilken datanøjagtighed, der er nødvendig) samt
- 2) hvor mange eksisterende reflektorpunkter, der er i det pågældende område.

Ønsker forsyningen at følge udviklingen i et nyt område fremadrettet ved opsætning af hjørnereflektorer, eller ved at nye bygninger og infrastruktur i et område, giver nye reflektorer i det givne område, skal man være opmærksom på, at der skal indsamles data fra området med gennem en længere tidsperiode, før præcisionen af beregningerne for landbevægelserne i området kan opnå mm nøjagtighed.

Erfaringerne fra projektet i Lemvig vurderer at udgiften forbundet med opstillingen af tre præcisionsreflektorer ligger på ca. 160.000 – 180.000 dkr.

Step 3: Tidsserie anvendes til beregning af lokale terrænændringer

Tilgængelige data fra 2014-2019 kan bruges til beregning af hastigheder for terrænændringer i målepunkter, eller ledningsnettet. Figuren herunder viser eksempler på tidsserier af målepunkter direkte i satellitdata fra Thyborøn. For forsyningen kan der være interesse i specifikke punkter i et område (for eksempel en samlebrønd eller pumpestation), eller i mere generel viden om hele området.



Step 3.1 Eksempel på tidsserier af gentagne målinger for satellitpunkter i Lemvig. Der er udvalgt fire forskellige punkter på kortet til venstre, tidsserierne for disse punkter er vist i grafen til højre. Der ses relativt store forskelle i lokale terrænændringer i de fire illustrerede punkter.

Disse terrænændringshastigheder kan anvendes i områder, hvor de lokale ændringer forventes at fortsætte uændret fremadrettet i forhold til beregningsgrundlaget.

Step 4: Overensstemmelse i datapræcision i ledningsnet og satellitinformation

Beregningerne for landbevægelserne i området kan bruges til analyser af bevægelsehastigheder i specifikke punkter. På baggrund af disse kan der udarbejdes interpolerede kort over ændringer i terræn for et givent område. Således oversættes satellitmålingerne i specifikke punkter til gennemsnitlige terrænændringer for de enkelte kloakbrønde og dermed til hele ledningsnettet.

I overvejelserne omkring datapræcision ligger også en kontrol af at de underjordiske installationers bevægelser følger terrænændringerne. Dette kan ske ved kontrolmåling af tilgængelige jordliggende punkter for eksempel kloakbrønde.

Step 5: Lokale terrænændringer anvendes i forskellige værktøjer

Lokale terrænændringer anvendt til overblik over risikozoner fremadrettet

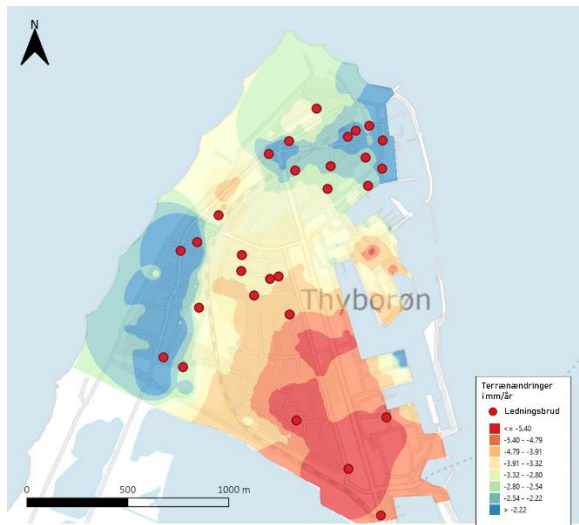
- Viden om lokale terrænændringshastigheder kan med fordel indgå i den almindelige og udvidede screeninger af områder i forhold til risikofaktorer. Der er tale om et ekstra lag viden om lokalområdet, i forlængelse med viden om geologien, grundvandstandsniveau, oplande og flowretninger, havniveau, nedbør etc.



Step 25.1 Fremskrivninger af målte terrænændringer i Thybrøn, her vist for år 2030. Kortet viser at der er områder der har undergået terrænsætninger på mere end 48cm regnet fra den nuværende tilstand.

Lokale terrænændringshastigheder sammenholdt med viden om ledningsbrud i et område.

- Ved sammenligning af lokale terrænændringshastigheder med viden om ledningsbrud i området, kan det afklares i hvilke lokalområder terrænændringerne kan have været årsag til brud.
- Sammenholdt med lokalkendskab vedrørende materialer, ledningsalder o.lign. bidrager denne erfaring til udpegning af risikofaktorer fremadrettet i forhold til planlægning og prioritering af vedligeholdelsesarbejde.



Step 5.2 Registrerede ledningsbrud samt terrænændringer i mm/år.

Fremskrivning af lokale terrænændrings anvendelse hydrauliske modeller

- Fremskrivninger af lokale terrænændringer kan anvendes, når der er tale om ændringer, der må formodes at fortsætte uændret i den periode man laver fremskrivninger for.
- Fremskrivninger af lokale terrænændringer kan indarbejdes i fremtidssimuleringer af f.eks. strømningsretninger i ledningsnettet til forskellige fremtidsscenarier +5år, +20år, +50år etc. Dette gøres ved at inddrage disse dynamiske situationer i den anvendte hydrauliske model for ledningsnettet.



Step 3.3 Eksempel på anvendelse af fremskrivning af lokale terrænændringer i simuleringer af lokalt ledningsnetværk for regnvand i den nordøstlige del af Thyborøn. Vist er hhv. den nuværende fyldningsgrad af regnvandsledningerne ved et-års regnhændelse (til venstre) samt et-års regnhændelse for samme ledningsnet med 20 års terrænsænkninger inddraget i simuleringen. I det viste eksempel, giver terrænændringerne ikke anledning til funktionsnedsættelser i modelområdet.

Fremskrivning af lokale terrænændringer kan hermed anvendes i planlægning og vedligehold af vand- og spildevandsselskabers ledningsnet. For eksempel kan udpegninger af risikozoner på baggrund af terrænændringshastigheder være værdifulde i forhold til at vurdere og prioritere ledningsarbejder som reparationer og udskiftninger.

